



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ARTO KORPELA

ROOTTORIN MAGNEETTIEN LADONTAJÄRJESTELMÄN ESI-
SUUNNITTELU

Diplomityö

Tarkastaja: professori Arto Lehto-
vaara

Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Teknisten tieteiden tiedekuntaneu-
voston kokouksessa 4. kesäkuuta
2014

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Konetekniikan koulutusohjelma

KORPELA, ARTO: Roottorin magneettien ladontajärjestelmän esisuunnittelu

Diplomityö, 50 sivua, 4 liitesivua

elokuu 2014

Pääaine: Koneiden ja järjestelmien suunnittelu

Tarkastaja: professori Arto Lehtovaara

Avainsanat: robotti, järjestelmäsuunnittelu, esisuunnittelu, magneetti, kokoonpano, automatisointi

Roottorin magneettien ladonnan automatisointi on KONE Oyj:n ja KONE Industrial Oy:n tuotantoteknologian kehitysprojekti, jonka tavoitteena on parantaa työturvallisuutta ja kasvattaa tuotantovolyyminä. Magneettien automaattinen ladonta tarkoittaa robotein suoritettavaa magneettien asentamista kestomagneettiroottoriin.

Työn päätavoitteina on halutun järjestelmän konstruktion määrittäminen, järjestelmään sisältyvän magneettipakkauksen suunnittelu sekä perus- ja toteutussuunnittelun tukeminen mittauksin ja tutkimuksin. Työn tarkoitus on myös toimia projektin raporttina sekä antaa tukea ja viitteitä tuleville tuotantoteknologian parannushankkeille.

Järjestelmän olennaisimmiksi komponenteiksi muodostui kaksi ladontarobottia, poimintarobotti sekä kaksi magneettimakasiinia. Poimintarobotti liikkuu lineaariradalla ja poimii radan vierelle sijoitetuista magneettipakkauksista 160 mm korkeita magneettipinoja ja asettaa ne magneettimakasiiniin. Magneettimakasiinin tehtävä on purkaa magneettipinot yksittäisiksi magneeteiksi iskevän luistin avulla. Magneettipinon alin magneetti työnnetään luistin avulla irti pinosta yksittäiseksi magneetiksi. Luisti työntää purjetun yksittäisen magneetin paikkaan, josta ladontarobotin on helppo magneetti poimia. Ladontarobotti poimii magneetin ja asettaa sen roottorille määritettyyn kohtaan. Poiminta- ja ladontarobotit sekä laadunvarmistusjärjestelmä toimivat konenäön avulla.

Robottien tarttumat perustuvat rautasydämen magneettiseen vetovoimaan. Tarttujan rautasydämen koolla voidaan vaikuttaa magneetin asennuskorkeuteen. Mitä suurempi on tarttujan rautasydämen magneettinen pinta-ala, sitä lähemmäksi roottorin rautapintaa voidaan magneetti viedä ennen magneetin irtoamista tarttujasta. Magneetti irta-aa tarttujasta, kun roottorin rautapinnan magneettinen vetovoima voittaa tarttujan rautasydämen vetovoiman. Haluttu magneettien asennuskorkeus on noin 2-3 mm, joka saavutetaan tarttujalla, jonka pinta-ala on noin 700 mm².

Magneettipakkaukselle kehitettiin kolme eri konstruktiovaihtoehtoa: ruostumattomasta teräksestä, pahvista ja muovista valmistetut pakkaukset. Pakkaukseen käytetyt materiaalit valittiin niiden ei-magneettisen luonteen vuoksi, jolloin myös puuta käytettiin kaikissa vaihtoehdoissa. Magneettipakkauksen konstruktion olennaisin asia on magneettipinojen pysyminen paikallaan sekä vierekkäisten pinojen välisten vuorovaikutusvoimien hallinta.

Halutun konstruktion mukaisen järjestelmän valmistus suoritetaan pääasiassa vuoden 2014 aikana. Valmistuksen edetessä tehdään tarkemmat pilot-testaukset magneettipakkauksille ja tarttujan toimivuudelle. Lopullinen järjestelmän toiminnallisuuden hyväksyntä tapahtuu KONE Oyj:n järjestämässä SAT-testissä.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Mechanical Engineering

KORPELA, ARTO: Preliminary design for automatic assembly system of rotor permanent magnets

Master of Science Thesis, 50 pages, 4 Appendix pages

August 2014

Major: Machine and system design

Examiner: Professor Arto Lehtovaara

Keywords: robotics, system design, preliminary design, assembly, magnet, automation

Automating the installation of rotor permanent magnets is a manufacturing enhancing project by KONE Oyj and KONE Industrial Oy which aims to improve safety at work and production volume.

The main objective of this thesis is to define the desired construction of the system, design the magnet pallet and support detailed design with measurements and analysis. The thesis also works as a project report and gives support and references to upcoming manufacturing excellence projects.

The most important components of the system are two installation robots, picking robot and a magnet magazine. The picking robot moves on a linear track and picks magnet stacks from the magnet pallets and places them into the magnet magazine. The magnet magazine then separates the bottom magnet of the stack with a striking spool. A single magnet is separated to the position from where the installation robot can easily grab it. The installation robot grabs the magnet and installs it to a specified location on to the rotor's iron surface. Picking - and installation robots use machine vision to perform the required tasks.

The functionality of the robot gripper is based on the grippers iron heart magnetism. The effective surface area of the iron heart determines the installation height of the magnet. The bigger the surface area, the closer to the iron surface the magnet will then unstick the gripper. With an iron heart area of 700 mm^2 the installation height is about 2-3 mm.

Magnet pallet options are limited to three different constructs: Stainless steel package, cardboard package and plastic package. Among wood, materials were restricted to these three materials because of their non-magnetic behaviour. The key aspect of the pallet design is to make sure the magnet stacks attach to their place and pay attention to the interactions between adjacent magnet stacks.

The specified system will be manufactured during the year 2014. Pilot-testing of the magnet pallets will be performed during the manufacturing and detailed design phase. The final acceptance of the system requires an accepted site acceptance test reviewed by KONE Oyj.

ALKUSANAT

Tämä on KONE Oyj:lle tehty Tampereen Teknillisen yliopiston diplomityö. Haluan kiittää projektissa kaikki mukana olleita ja olevia henkilöitä. Erityisen iso kiitos Component Manager Janne Rahuselle, Senior Specialist Juha-Matti Kupariselle, Specialist Tommi Loukkaalle, Maintenance team leader Janne Laurilalle sekä koko Sermatech Oy:n henkilökunnalle. Haluan kiittää myös Professori Arto Lehtovaaraa työn ohjauksesta sekä mielekkästä ja joustavasta yhteistyöstä.

Hyvinkäällä 10.7.2014

Arto Korpela

SISÄLLYS

Termit ja niiden määritelmät	vi
1 Johdanto	1
2 Järjestelmäsuunnittelu	3
2.1 Suunnittelun konstruktiosprosessi	3
2.2 Ongelman analysointi eli esisuunnittelu	4
2.2.1 Tarve	4
2.2.2 Tiedon kerääminen	5
2.2.3 Tavoitekonstruktion määrittäminen	5
2.2.4 Päätöksenteko	7
2.3 Synteesi eli perussuunnittelu	7
2.3.1 Ratkaisumahdollisuuksien kehittäminen	8
2.3.2 Ratkaisumahdollisuuksien tutkiminen ja karsinta	8
2.3.3 Ratkaisun valinta	9
2.4 Ratkaisun toteuttaminen eli toteutussuunnittelu	10
2.4.1 Valitun ratkaisun kehittäminen	10
2.4.2 Optimointi	13
2.4.3 Yksityiskohtien suunnittelu	14
2.4.4 Luotettavuus	15
2.4.5 Testaus ja arvostelu	16
3 Roottorin magneettien automaattinen ladontajärjestelmä	17
3.1 Taustatietoa	17
3.1.1 Moottorin rakenne ja toiminta	17
3.1.2 Kestomagneetit	19
3.1.3 Nykyinen prosessi	19
3.2 Kehitystarve	20
3.3 Toimittajan valinta	20
3.4 Projektin aikataulu	21
3.5 Projektispesifikaatio	21
3.5.1 Käsiteltävät tuotteet	22
3.5.2 Prosessi	22
3.5.3 Laitteistovaatimukset	24
3.5.4 Käyttöliittymä ja tiedonkeruu	29
3.5.5 Magneettien pakkaus	30
3.5.6 Dokumentaatio	31
3.5.7 Koulutus	31
3.6 Ladontasolun layout	32
3.7 Magneettimakasiini	35
3.8 Robottien valinta ja tarttujan suunnittelu	36
3.8.1 Ladontarobottien valinta	36
3.8.2 Tarttujan mitoitus	38

3.9	Pakkaussuunnittelu.....	41
3.9.1	Ruostumaton teräspakkaus	41
3.9.2	Pahvinen magneettipakkaus.....	44
3.9.3	Muovinen magneettipakkaus	45
3.10	Hyväksyntäkriteerit	46
3.10.1	FAT-testi toimittajalla	47
3.10.2	FAT-testi asiakkaalla.....	47
3.10.3	SAT-testi.....	48
3.11	Huolto- ja palvelusopimus	48
4	Johtopäätökset.....	49
	Lähteet.....	50
	Liite 1: Kokoonpanokuva: Ruostumaton teräspakkaus	
	Liite 2: Mittakuva: Laserleike ruostumaton teräs	
	Liite 3: Kokoonpanokuva: Pahvipakkaus	
	Liite 4: Mittakuva: Leikattu aaltopahviarkki	

TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

Konstruktööri	Konstruktioprosessin johtaja. Tavallisesti konstruktööri on insinööri, projektipäällikkö, pääsuunnittelija tai vastaava.
SAT-testi	Site Acceptance Test on järjestelmän hyväksymistesti loppusijoituspaikalle asentamisen jälkeen.
FAT-testi	Factory Acceptance Test on järjestelmän hyväksymistesti ennen loppusijoituspaikalle asentamista.
KNL	Käytettävyys * Nopeus * Laatu (<i>eng. OEE: Overall Equipment Effectiveness</i>).
SPOF	Single Point Of Failure. Analyysi järjestelmän toiminnan kannalta kriittisistä kohdista.

1 JOHDANTO

Työn taustalla on tavoite KONE:en tuotantoteknologian ja laadun jatkuvasta kehittämisestä ja parantamisesta. Tuotantoteknologialla tarkoitetaan hissin koneiston tuottamiseen käytettäviä menetelmiä, työkaluja ja prosesseja. Työ toimii myös esitietona mahdolliselle laajennusprojektille, jonka tarkoituksena on laajentaa koko roottorien kokoonpanoprosessi tulevaisuudessa automatisoiduksi.

Työn tavoitteena on parantaa työturvallisuutta ja tuotantovolyymia sekä tarjota tietoa ja tukea tuotantoteknologian parannushankkeille. Työn tarkoitus on määrittellä, minkälaisella teknisellä konstruktiolla saavutetaan luotettavuudeltaan ja käytettävyydeltään erinomainen roottorin magneettien automaattinen ladontajärjestelmä. Työn avulla kehitetään projektin hallintaa ja opitaan laatimaan realistisia aikatauluja.

Allekirjoittaneen osuus projektista on projektispesifikaation eli tavoitekonstruktion määrittäminen sekä perus- ja toteutussuunnittelun tukeminen. Työhön sisältyy myös magneettipakkausten suunnittelu sekä magneettien mittaukset ja analysointi, joilla tuetaan tarkempaa mekaniikkasuunnittelua. Magneettipakkaus on kriittinen osa järjestelmää, jonka optimaalinen suunnittelu parantaa varmuutta, kasvattaa volyymia, vähentää fyysisistä työtä sekä laskee kustannuksia.

Järjestelmän suunnittelu on monivaiheinen prosessi, jonka taitaminen vaatii tiettyä kykyä havainnoida kokonaisuuksia ja punnita mittasuhteita. Järjestelmän suunnitteluprosessi voidaan jakaa karkeasti esi-, perus-, ja toteutussuunnitteluun. Nämä vaiheet jakautuvat edelleen yhä pienempiin osiin suunniteltavasta järjestelmästä riippuen.

Työn teoriaosassa on perehdytty järjestelmän suunnitteluprosessin eri vaiheisiin sekä suunnitteluratkaisun toteuttamiseen ja arviointiin. Suunnitteluprosessi käynnistyy tarpeesta ratkaista jokin ongelma. Tämän jälkeen kerätään tarvittavat tiedot ongelman ratkaisemiseksi. Kun ratkaistava ongelma on määritetty riittävällä tasolla ja tarvittavat pohjatiedot on olemassa, voidaan kehittää konstruktiokonsepti, joka ratkaisee ongelman. Tätä vaihetta kutsutaan esisuunnitteluvaiheeksi eli ongelman analysoinniksi. Esisuunnitteluvaiheesta jatketaan synteysiin eli perussuunnitteluun. Synteesivaiheessa kehitetään ja tutkitaan ratkaisumahdollisuuksia. Kun kehitettävä ratkaisu on valittu, siirrytään yksityiskohtaisempaan suunnitteluun ja ratkaisun optimointiin eli toteutussuunnitteluun.

Työn soveltavassa osassa perehdytään automaattisen kokoonpanosolun suunnitteluprosessiin keskittyen esisuunnitteluvaiheeseen. Esisuunnitteluvaiheessa on luotu järjestelmän spesifikaatio, joka määrittelee halutun konstruktion sekä järjestelmän vaatimukset. Suunniteltava järjestelmä on automaattinen aksiaalisähkömoottorin kestopakkausten asennusjärjestelmä. Järjestelmä lataa magneetit sähkömoottorin roottorin rautapinnalle robottien ja konenäköjärjestelmän avulla. Työssä on perehdytty miten järjestelmän layout ja toiminnallisuus on muodostunut halutunlaiseksi.

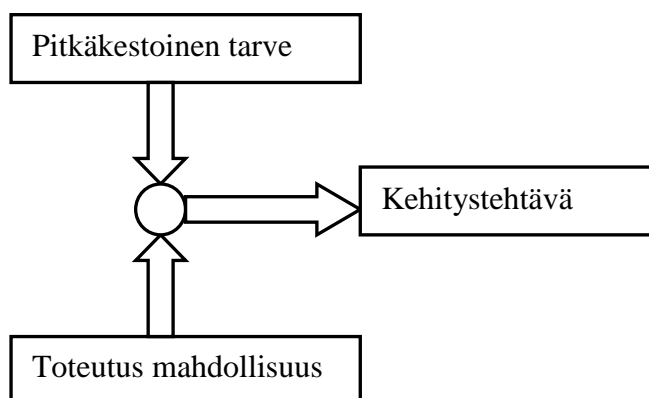
Työssä on mitattu kestopagneettien voimia erilaisissa tilanteissa sekä analysoitu tuloksia järjestelmän toiminnan kannalta. Soveltava osuus sisältää lisäksi magneettipakkauksen suunnittelun sekä suunnitteluprosessin kulun ensimmäisistä ideoista lopulliseen konstruktiin.

2 JÄRJESTELMÄSUUNNITTELU

Insinöörin keskeisiin tehtäviin kuuluu olemassa olevien järjestelmien ongelmien havainnointi ja niiden juurisyys. Ongelmanratkaisun tavoitteena on konstruoida tekninen ratkaisu, joka johtaa epäedullisesta tilanteesta lopputulokseen, jolla parhaalla mahdollisella tavalla korjataan järjestelmän ongelmat. ”Insinöörin keskeinen tehtävä on luoda uusia tarkoituksenmukaisia teknisiä konstruktioita” [1, s. 2.]

2.1 Suunnittelun konstruktiossessi

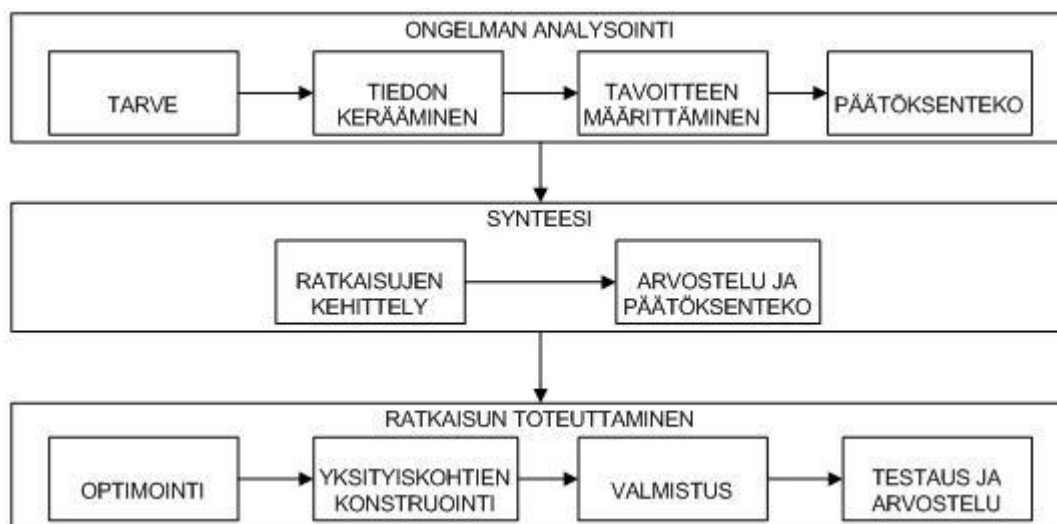
Konstruktiossessi laukaisee kehitystehtävän, joka lähtee aina liikkeelle pysyvästä pitkäkestoisesta tarpeesta, sekä mahdollisuudesta täyttää tarve (Kuva 1.).[2]



Kuva 1. Kehitystehtävän edellytykset.

Konstruktiossessi esittää menetelmät, joita seuraamalla saavutetaan haluttu lopputulos kohtuullisessa ajassa. Yksi henkilö ei voi välttämättä hallita kaikkia prosessin vaiheita, mutta on tärkeää, että projektista kuitenkin vastaa yksi pääsuunnittelija, projektipäällikkö tai vastaava. Ratkaisu perustuu aina olemassa olevaan tietoon, joten konstruktiossessin johtajan on kyettävä arvioimaan saadun tiedon laatua sekä määriteltävä tavoite vastamaan mahdollisimman hyvin olemassa olevaa ongelmaa.

Konstruktiossessi voidaan jakaa kolmeen päävaiheeseen: ongelman analysointiin, synteysiin eli ongelman ratkaisuun sekä toteutukseen. Jokainen vaihe jaetaan edelleen useampaan alajaksoon. Prosessiautomaatiossa näitä vaiheita kutsutaan myös yleisesti esisuunnitteluksi, perussuunnitteluksi sekä toteutussuunnitteluksi[3]. Erään konstruktiossessin kaavio on nähtävillä kuvassa 2. [1]



Kuva 2. Konstruktiosprosessin prosessikaavio.

Kuvan 2 kaltainen lähestymistapa kehitysprosessiin toimii hyvin muun muassa tämän työn tapaisen järjestelmän, kokoonpanosolun, suunnittelussa. Vaihtoehtoinen prosessikuvaus on esitetty esimerkiksi kirjassa *Product Design & Development* [4], joka keskittyy enimmäkseen tuotekehityksen suunnitteluun. Tässä kuvauksessa suunnittelu jaetaan viiteen vaiheeseen, ja organisaation eri yksiköille annetaan omat vaiheita vastaavat vastualueet. Tällainen kehitysprosessi sopii erinomaisesti tuotesuunnitteluun. Kaikissa suunnittelumenetelmissä yhteistä on, että menetelmät perustuvat yleiseen ongelmanratkaisumenetelmään ja tietoon siitä, että monimutkainen ongelma ratkaistaan vaiheittain. [3]

2.2 Ongelman analysointi eli esisuunnittelu

Koska insinöörin työ on pohjimmiltaan teknisten tarpeiden tyydyttämistä, on kaiken laadukkaan suunnittelun lähtökohtana tarpeiden ymmärtäminen. Tarpeiden puutteellinen selvittäminen saattaa johtaa huonoon lopputulokseen tai väärän ongelman ratkaisuun. Esisuunnittelu vastaa kysymykseen: ”mitä haluamme?”.

2.2.1 Tarve

Tarpeet voidaan jakaa primäärisiin ja sekundäärisiin tarpeisiin. Insinööri voi saada ulkopuolelta tehtävän tai hän voi havaita tarpeita omassa työympäristössään. Primäärinen tarve on perimmäinen syy kehitystyön aloittamiselle. Tavallisessa tuotantoympäristössä tämä voi olla esimerkiksi tuotannon nopeuttaminen ja volyymin kasvattaminen. Sekundäärisiä tarpeita voisivat olla muun muassa työn mukavoittaminen, - helpottaminen tai työn yksinkertaistaminen. Kun kehitetty ratkaisu tyydyttää sekundääristarpeita primääritarpeen ohella, puhutaan *fuusiosta*. Kun tietyn tarpeen tyydyttäminen vaikeuttaa toisten tarpeiden tyydyttämistä, puhutaan *konfliktista*. Konstruktiosprosessin johtajan, eli kon-

struktuurin on pyrittävä ratkaisuun, joka on kaikki näkökulmat huomioon ottaen optimaalisin.

Tarpeiden syvällisemmille tasoille päästään vastaamalla kysymyksiin miksi? ja miten? Kysymystä voidaan esittää niin kauan, kunnes on varmasti ymmärretty mikä on perimmäinen syy kehitystyön aloittamiselle ja miten järjestelmän on toimittava, jotta tarve on tyydytetty mahdollisimman tehokkaasti ja optimaalisesti. Nämä tarpeet jotka johtavat kehitystyön aloittamiseen, määrittelevät jatkossa kehitettävän tuotteen vaatimukset.[1]

2.2.2 Tiedon kerääminen

Aiemmin jo todettiin, että ratkaisu perustuu lähes aina olemassa olevaan tietoon. Tavanomaisesti tietoa kerätään kirjallisuudesta, alan ammattilaisilta, havainnoimalla, kokeilemalla, kilpailijoiden tuotteita tutkimalla ja niin edelleen. Intuiivisempia tapoja tiedon hankkimiseen ovat aivoriihi, metodi 635, Delphi metodi ja muut luovan ongelmanratkaisun menetelmät, mutta ei näistä sen enempää. Tiedon keruuta suunniteltaessa on otettava huomioon, kuinka syvällistä ja uutta tietoa ratkaisun kehittäminen vaatii. Sähkömoottorin rungon yksittäisen yksinkertaisen valuosan suunnittelu ei välttämättä vaadi konetekniikan perustietoa syvällisempää ymmärrystä, mutta valmiin moottorin tuottaman momentin laskeminen saattaa vaatia perehtymistä uudempiin tutkielmiin. Tällöin olennaista on mistä tietoa hakee. [5]

Koska konstruktööri ei voi hallita kaikkia osa-alueita yksin, on luontevaa käyttää apuna eri alojen spesialisteja tiedon keräämisen tukena. Specialistit keskittyvät konstruktioprosessin rajattuihin osa-alueisiin ja keskittyvät yksityiskohtien suunnitteluun. Professori Matti Kleimolan [2, s. 14] mukaan tuotekehitysprosessin viimeistely käyttää 60 % koko kehitysprosessiin kulutetusta ajasta, mikä kertoo yksityiskohtien suunnittelun tärkeydestä.

2.2.3 Tavoitekonstruktion määrittäminen

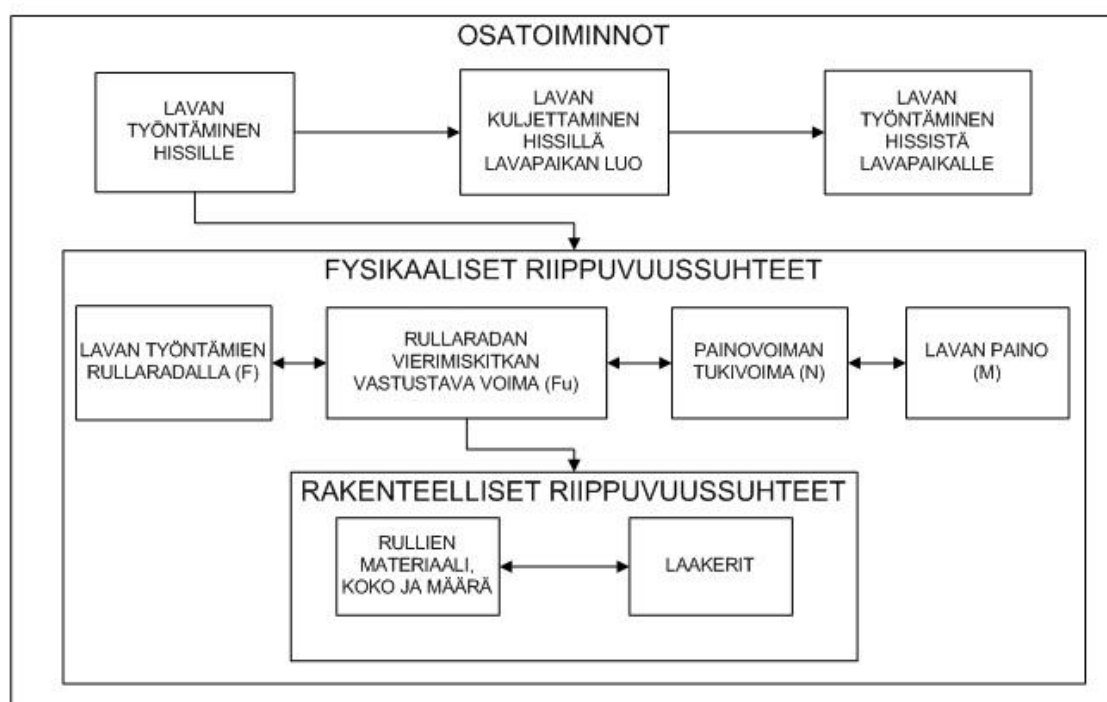
Tarpeen tyydyttämiseksi on määriteltävä konstruktio, joka ratkaisee ongelmat, jotka aiheuttavat tarpeen. On ymmärrettävä tarpeen ja ongelman ero. Ongelma on este tarpeen tyydyttämisessä.

Tavoitekonstruktiota määrittäessä on määriteltävä järjestelmältä vaadittavat vähimmäisvaatimukset. *Kiinteät vaatimukset* ovat vaatimuksia, jotka on täytettävä kaikissa tilanteissa, kuten lain määäämät normit ja määräykset. Useissa tilanteissa myös yleisesti käytettävät standardit ja laatuvaatimukset kuuluvat kiinteisiin vaatimuksiin. *Vähimmäisvaatimuksien* ylittäminen järjestelmän kannalta suotuisampaan suuntaan on sallittua, mikäli se ei aiheuta konflikteja muiden vaatimusten kanssa, yleensä kustannustekijöiden. Vähimmäisvaatimuksia voidaan asettaa muun muassa nopeudelle, energian kulutukselle, turvallisuudelle, melulle ja niin edelleen. *Toivomukset* järjestelmää määrittäessä otetaan huomioon toteutusmahdollisuuksien mukaan. Näiden toteuttamisesta aiheu-

tuvat lisäkustannukset määritellään usein erikseen. Toivomukset ovat yleensä niitä, joiden avulla kilpailuvaltti saavutetaan. [2]

Toinen käytetty tapa on jakaa vaatimukset *objektiivisiin* ja *mitattaviin* vaatimuksiin (vapaa suomennos, eng. *objective, constraint*). Objektiiviset vaatimukset ovat aina tavalla tai toisella käyttäjästä riippuvaisia. Tällaisia vaatimuksia ovat esimerkiksi hyvä ulkonäkö, käteen sopiva muotoilu ja miellyttävä ääni. Mitattavat vaatimukset eivät riipu käyttäjän mieltymyksistä, kuten pituus, paino, äänenvoimakkuus, valon kirkkaus ja niin edelleen. [6]

Tavoiteratkaisua määrittäessä on määriteltävä halutun järjestelmän osien riippuvuussuhteet; mitä tehdään missäkin vaiheessa. Riippuvuussuhteet määrittävät toimintojen järjestyksen ja saattavat paljastaa jo tässä vaiheessa rajoittavia tekijöitä suunnittelun kannalta, mikä saattaa edelleen aiheuttaa järjestelmän vaatimuslistan muokkaamisen. Riippuvuussuhteet voidaan jakaa toiminnallisiin -, fysikaalisiin -, ja rakenteellisiin riippuvuussuhteisiin. Toiminnalliset riippuvuussuhteet määrittävät osatoimintojen järjestyksen. Fysikaaliset riippuvuussuhteet määrittävät osatoimintojen fysikaaliset vuorovaikutukset. Rakenteelliset riippuvuussuhteet määrittävät fysikaalisten vuorovaikutusten aiheuttamien voimien vaatimat rakenteelliset mitat ja materiaalit. [1, 5] Kuvassa 3 on esitetty esimerkki yksinkertaistetun korkeavarastojärjestelmän riippuvuussuhteista.



Kuva 3. Esimerkki järjestelmän riippuvuussuhteista.

Nykyään on myös yleisesti käytössä tietokoneavusteiset järjestelmien mallinnustavat jotka hyödyntävät UML (Unified Modeling Language) / SysML mallinnuskieltä järjestelmän toiminnallisuuden kuvaamiseen. UML mallinnuksen avulla voidaan graafisella mallilla kuvata koko järjestelmän toiminta yksiselitteisesti. Tällöin väärinkäsitysten riski pienenee, koska kaikki osapuolet ymmärtävät toiminnan samalla tavalla. [7]

2.2.4 Päätöksenteko

Järjestelmän konstruktion valinta perustuu ideaalisimpaan ratkaisuun. Todella harvoin pystytään suunnittelemaan järjestelmä, joka täyttää kaikki odotukset ja toivomukset täysin. Tämän vuoksi täytyy painottaa merkitsevimpiä vaatimuksia. Päätöksenteon avuksi voidaan vaatimuksille ja ominaisuuksille asettaa painoarvot(h) esimerkiksi asteikolla 1-5. Mitä tärkeämpi ominaisuus on kyseessä, sitä suuremman painoarvon se saa. Myös ominaisuuksien laadulle(p) voidaan asettaa arvot esimerkiksi 1-5, jolloin mitä paremmin ominaisuus toteutuu sitä suuremman arvon se asteikolla saa.

Näin voidaan optimoida paras mahdollinen ratkaisuvaihtoehto useasta mahdollisesta skenaariosta. Maksimoimalla järjestelmän käyttöarvo (V_k), saadaan selville optimaalisin ratkaisu. Järjestelmän käyttöarvo voidaan laskea kaavalla:[1, s. 49]

$$V_k = \frac{\sum_{i=1}^k (h_i * p_i)}{p_{\max} * \sum_{i=1}^k h_i} \quad (1)$$

missä,

h = Ominaisuuden painoarvo

p = Ominaisuuden laatu

p_{\max} = Ominaisuuksien laadun maksimiarvo

k = Ominaisuuksien lukumäärä.

Päätöksenteon tueksi voi piirtää myös matriiseja, profileita tai diagrammeja tarvetilanteesta ja halusta riippuen. Mikäli järjestelmässä on yksittäisiä ominaisuuksia, joille on asetettu vähimmäisvaatimukset, ovat nämä täyttyvä, vaikka jokin toinen ratkaisu toisikin suuremman käyttöarvon. Yleisesti ottaen keskitytään tärkeiden asioiden täyttämiseen mahdollisimman hyvin, jolloin myös käyttöarvo saadaan suureksi.

Mitä yksityiskohtaisempia ominaisuuksia tässä vaiheessa tarkastellaan, sitä paremmat lähtökohdat se antaa varsinaisen suunnittelun aloittamiselle ja ratkaisumahdollisuuksien löytymiselle. Päätöksenteon lopputuotteena syntyy järjestelmän spesifikaatio, joka määrittelee suunniteltavan järjestelmän toiminnallisuuden ja vaatimukset sekä mahdollinen tarjous mikäli järjestelmä tilataan ulkopuoliselta toimittajalta.[3]

2.3 Synteesi eli perussuunnittelu

Konstruktiosuunnittelun synteesivaiheessa pyritään luomaan konstruktiot, jotka tyydyttävät tarpeen, ratkaisee ongelman ja täyttää järjestelmälle asetetut vaatimukset. Synteesivaiheessa tutkitaan mahdollisia ratkaisuvaihtoehtoja, joko osatoiminnoista alkaen tai mahdollisen olemassa olevan konstruktion pohjalta. Mitä varhaisemmassa vaiheessa luovu-

taan toteutuskelvottomista ratkaisista, sitä tehokkaammin konstruktio prosessi etenee, sillä voidaan luopua tarpeettomasta yksityiskohtien suunnittelusta hylättäviin ratkaisuvaihtoehtoihin. Perussuunnittelu vastaa kysymykseen: ”Miten toteutamme haluamamme?”

2.3.1 Ratkaisumahdollisuuksien kehittäminen

Ratkaisumahdollisuuksien kehittämisessä etsitään ratkaisuja ongelman analysointi vaiheessa määritetyn järjestelmän osatoimintojen toteutukseen (luku 2.2.3). Kun osatoiminnot ovat ratkaistu tyydyttävällä tasolla, on toiminnot koottava yksikäsitteiseksi kokonaisuudeksi. Tavanomaisimpia menetelmiä ratkaisujen etsimiseen ovat kirjallisuuden käyttö, luonnon omien järjestelmien analysointi, tunnettujen järjestelmien analysointi, analogiatarkastelut sekä mittaukset ja mallikokeet.[6]

Kirjallisuuden käyttö on suunnittelijan tärkeimpiä tietolähteitä sisältäen ammattikirjallisuuden ja – julkaisut, patentit, tekniset tiedot ja niin edelleen. Kilpailijoiden sekä omien edeltävien tuotteiden tutkiminen antaa hyvän pohjan ratkaisujen kehittämiselle. Olemassa olevia konstruktioita on kuitenkin syytä tutkia oletuksella, että ne eivät ole täydellisiä vaan toimivat korkeintaan lähtökohtana uuden ratkaisun kehittämiselle [1]. Mittaukset ja testijärjestelyt ovat vähintään yhtä tärkeitä kuin edellä mainitut menetelmät. Yksinkertaisella testillä voi saada helposti tietoa, jota olisi kenties mahdotonta tai erittäin vaikeaa saada laskemalla tai simulaation avulla. Toisaalta myös simulaation avulla voi saada tietoa asiasta, jonka testaaminen suunnitteluvaiheessa on liian kallista tai hankalaa.

Kuten aiemmin on jo todettu, optimaalisin ratkaisu on vaihtoehto, joka edullisesti täyttää järjestelmän vaatimuslistan kiinteät vaatimukset vaaditulla tasolla. Tämän takia on syytä suosia edullisia ratkaisuja ja pyrkiä kehittämään niitä käyttökelpoisiksi.

2.3.2 Ratkaisumahdollisuuksien tutkiminen ja karsinta

Kun mahdolliset järjestelmän luonnokset on kehitelty, on aika karsia näistä heikot ja epäedullisimmat vaihtoehdot pois. Ensimmäisessä vaiheessa karsitaan kaikki jo tässä vaiheessa sopimattomaksi tiedetyt vaihtoehdot pois. Tämän jälkeen karsintaan kaikki vaihtoehdot, jotka eivät toteuta jokaista kohtaa seuraavasta listasta [1 s.72]:

- Toteuttavat vaaditut toiminnot
- Täyttävät asetetut vaatimukset
- On toteutettavissa fyysisesti
- On toteutettavissa aika- ja raharesurssien puitteissa.

Jonka jälkeen karsintaa voidaan jatkaa esimerkiksi:

- Työturvallisuus ja ergonomia
- Oman henkilöstön tieto ja osaaminen
- Patenttitilanne

Jäljellä olevien vaihtoehtojen karsiminen saattaa olla hankalaa varsinkin kokemattomalle suunnittelijalle. Hyvä vaihtoehto on käyttää esimerkiksi Stuart Pughin 1980-luvulla kehittämää *Concept screening* metodia, joka tunnetaan myös nimellä *Pugh concept selection*. Tässä menetelmässä verrataan jokaista vaihtoehtoa tiettyyn referenssiin jokaisella osa-alueella. Osa-alueen arvostelu on yksinkertaisesti: parempi kuin, yhtä hyvä kuin ja huonompi kuin. Arvostelun jälkeen vähennetään huonompien lukumäärä paremmasta ja saadaan ratkaisuvaihtoehdon pisteet. Arvosteltavia osa-alueita voi olla muun muassa käytön helppous, luotettavuus, kestävyys, hinta, valmistuksen helppous ja niin edelleen.[4]

Pughin metodin toimivuus perustuu siihen, että tässä vaiheessa suunnittelua ratkaisut ovat vasta luonnosteluvaiheessa, joten tarkempi numeraalinen arvostelu ei välttämättä anna luotattavaa tulosta ja karkealla vertailulla voidaan nopeasti karsia suurikin määrä ratkaisuja pois. Kuitenkin menetelmän tulosta täytyy analysoida kriittisesti ja miettiä onko joukossa ratkaisuja, jotka hylätään yhden laajalti vaikuttavan huonon ominaisuuden takia tai onko joukossa ratkaisuja, joita yhdistämällä voidaan hyvät puolet säilyttää ja huonot muuttaa paremmiksi.[4]

Kun jäljellä olevien ratkaisuvaihtoehtojen määrää on kavennettu sopivasti, voidaan siirtyä tarkempaan arvosteluasteikkoon ja siirtyä ratkaisun valintaan.

2.3.3 Ratkaisun valinta

Ratkaisun valinnassa pyritään löytämään objektiivisesti perustellen paras valinta ongelman ratkaisuksi. Ratkaisun valinta eri vaihtoehtojen joukoista on konstruktioprosessin yksi kriittisimmistä vaiheista. Mikäli tässä vaiheessa valitaan väärä ratkaisu toteutukseen, tulee väistämättä resurssien menetyksiä, joiden suuruus riippuu siitä kuinka ajoissa virhe on huomattu. Pahimmassa tapauksessa järjestelmä toimii jatkuvasti viallisesti, eikä uuden järjestelmän implementointi onnistu taloudellisista – tai tuotannollisista paineista johtuen.

Ratkaisun valinnassa on syytä käyttää tarkempaa arvosteluasteikkoa eri vaihtoehtojen välillä. Arvosteltavina asioina voidaan pitää samoja kuin ratkaisujen karsinta vaiheessa, mutta sitä on syytä laajentaa yksityiskohtaisempiin ominaisuuksiin. Tällaisia voi olla esimerkiksi:

- Käyttöolot ja käyttäjäystävällisyys
- Asennuksen, huollon, testauksen helppous
- Tekniset yksityiskohdat

- Toteutuksen ajan kestävyys
- ja niin edelleen.

Lopullista päätöstä tehdessä on syytä käyttää painotettuja arvosanoja. Painotus voidaan tehdä numeerisella - tai prosenttiasteikolla. Painotettujen arvosanojen avulla voidaan arvosteltavien ominaisuuksien määrää lisätä ilman, että kokonaiskuva vääristyy ja oleelliset asiat jäävät pimentoon. Ratkaisuehdotuksien arvostelussa on ehdottoman tärkeää vertailla vaihtoehtoja objektiivisesti ja puolueettomasti. Arvostelijan on myös ymmärrettävä arvosteltava asia riittävällä tasolla, jolloin tulee tarpeen käyttää eri alojen asiantuntijoita sekä riittävän suurta arvostelijajoukkoa.[6]

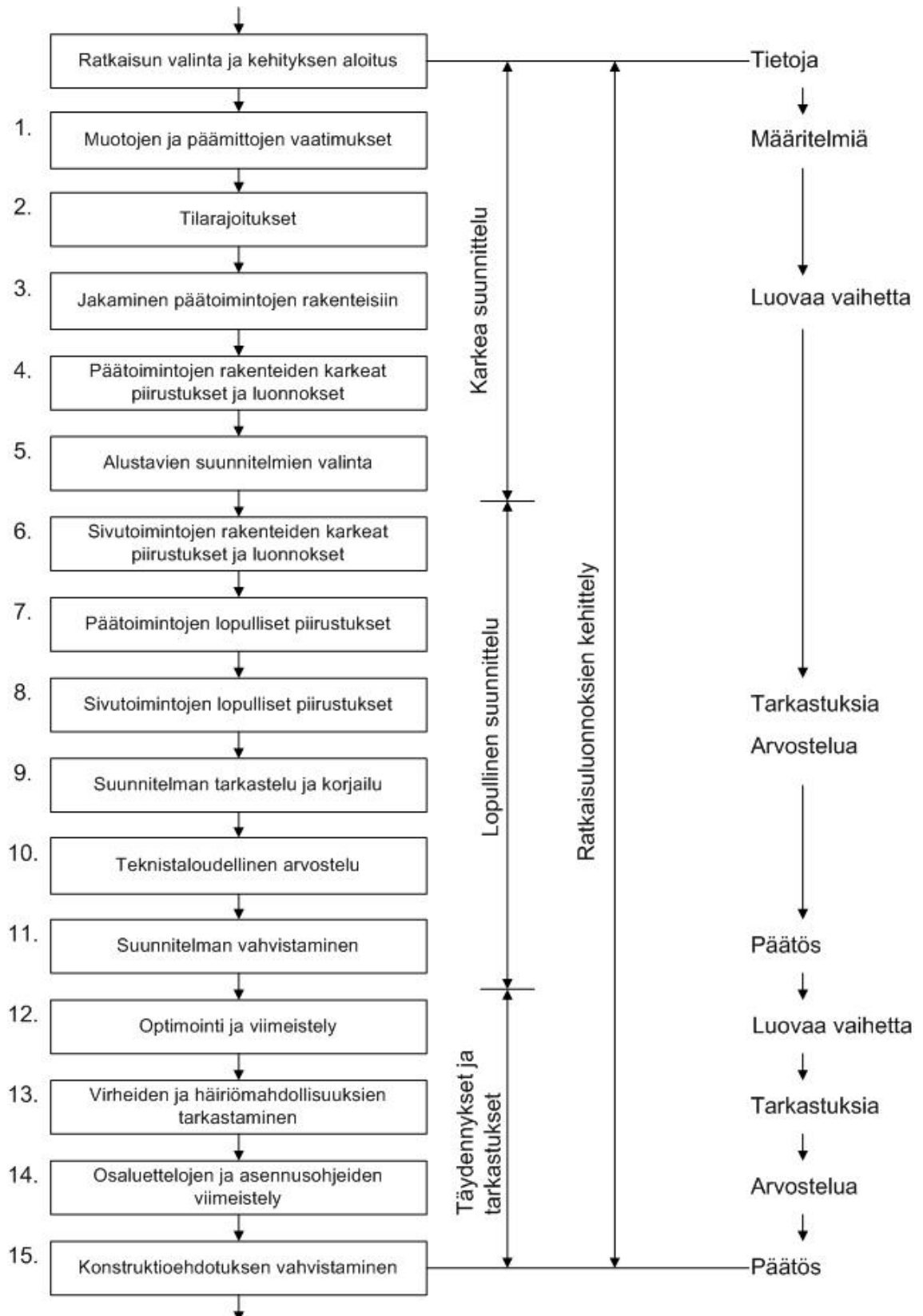
Arvostelu voi tuottaa vääriä tuloksia pääasiassa kahdesta syystä: subjektiivisista arvosteluvirheistä sekä menetelmän logiikassa olevista virheistä. Subjektiivisiä virheitä syntyy, kun arvostelija on puolueellinen. Puolueellisuutta voi syntyä tiedostamattomastikin esimerkiksi oman ehdotuksen puolesta, jolloin usean arvostelijan käyttäminen on olennaista. Menetelmän logiikassa olevia virheitä syntyy, kun eri vaihtoehtoja verrataan samoihin kriteereihin, joita ei voida kaikkien vaihtoehtojen kohdalla arvostella. Toinen virhettä tuottava looginen virhe on tilanne, jossa kriteerit ovat riippuvaisia toisistaan jolloin sama asia vaikuttaa monen kriteerin arvossaan. [1]

2.4 Ratkaisun toteuttaminen eli toteutussuunnittelu

Ratkaisun toteuttamisessa on tavoitteena tuottaa valittuun ratkaisuehdotukseen perustuen suunnitelma, joka on mekaniikka-, sähkö-, ohjelmisto- sekä turvallisuussuunnittelun jälkeen yksikäsitteisesti valmistettavissa. Toteutussuunnittelu vastaa kysymykseen: ”Mikä toteuttaa haluamamme?”

2.4.1 Valitun ratkaisun kehittäminen

Kun ratkaisu on valittu, on keskeisimpänä tehtävinä ratkaisun mitoitus niin, että järjestelmä täyttää pää- ja sivutoiminnoille asetetut vaatimukset. On valittava valmistusmateriaalit, asennus- ja valmistusmenetelmät sekä huomioitava turvallisuusvaatimukset. Myös tässä vaiheessa on syytä käyttää loogista etenemistapaa, jossa aloitetaan karkeasta luonnoksesta ja edetään vaiheittain kohti yksikäsitteistä ratkaisua. Tällä tavalla voidaan projektin etenemistä tarkastella sopivissa tarkastuserissä ja tehdä tarvittavat korjaukset ja muutokset mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. Kuvassa 4 on esitetty esimerkki järjestelmän ratkaisun kehitysprosessista. [8]



Kuva 4. Ratkaisun kehitysprosessi.[8, s.2]

Ratkaisun kehitysprosessi voidaan jakaa karkeasti kolmeen pääosaan, jotka ovat karkea suunnittelu, lopullinen suunnittelu sekä täydennykset ja tarkastukset. Karkeassa suunnittelussa otetaan huomioon järjestelmän päämittojen ja – muotojen vaatimukset sekä tila-

rajoitukset. Tällöin myös jaetaan päätoimintojen rakenteet, sekä tehdään näiden alustavat piirustukset. Lopullisessa suunnittelussa viimeistellään pää- ja sivutoimintojen piirustukset sekä arvostellaan tuotos teknillisestä ja taloudellisesta näkökulmasta. Viimeisessä vaiheessa tehdään optimointi ja viimeistely, riskianalyysit sekä viimeistellään järjestelmän käyttöönotto ynnä muut dokumentaatiot. Välihyväksytyksien määrä riippuu yrityksen yleisestä tavasta, sekä suunniteltavan järjestelmän suuruudesta. Hyvä tapa on kuitenkin hyväksyttää suunnitelma jokaisen päävaiheen jälkeen, joka tarkoittaa tässä tapauksessa kolmea arvostelu ja hyväksytys vaihetta ennen konstruktioehdotuksen viimeistä vahvistusta.

Taulukossa 1 on esitetty suunnitteluprosessin tueksi järjestelmän tärkeimpien ominaisuuksien suunnittelussa huomioon otettavat asiat. Kirjallisuudessa esiintyy lukuisia ohjeistuksia ja sääntöjä toteutussuunnittelulle, joille yhteisenä perussääntönä on *yksinkertaisuus*, *yksikäsitteisyys* sekä *varmuus*. Näitä sääntöjä on syytä noudattaa kaikessa suunnittelussa, sillä ne johtavat toimintojen toteutumiseen, taloudellisuuteen sekä ihmisen ja ympäristön turvallisuuteen. [5]

Kohta	Asia
Toiminnot	<ul style="list-style-type: none"> • Toteutuuko haluttu toiminto? • Mitä sivutoimintoja halutaan?
Vaikutusperiaatteet	<ul style="list-style-type: none"> • Tuottavatko valitut periaatteet halutut ominaisuudet? • Tuottaako valitut periaatteet häiriöitä?
Suunnittelu	<ul style="list-style-type: none"> • Toteutuuko riittävä kestävyys? • Toteutuuko sallitut muodonmuutokset? • Onko järjestelmä riittävän stabiili? • Onko järjestelmä riittävän resonoimaton? • Ylikuormittuuko järjestelmä? • Kestääkö järjestelmä korroosiota ja kulumista?
Turvallisuus	<ul style="list-style-type: none"> • Ovatko työ- ja ympäristöturvallisuuteen vaikuttavat asiat otettu huomioon?
Ergonomia	<ul style="list-style-type: none"> • Onko ihmisen kuormitus- ja rasitustekijät poistettu? • Onko muotoilu hyvää?
Valmistus	<ul style="list-style-type: none"> • Onko valmistuksen tekniset ja taloudelliset kannat huomioitu?
Tarkastus	<ul style="list-style-type: none"> • Ovatko tarkastukset mahdollista suorittaa?
Asennus	<ul style="list-style-type: none"> • Ovatko asennukset helppoja ja yksikäsitteisiä?
Kuljetus	<ul style="list-style-type: none"> • Onko ulko- ja sisäkuljetukset huomioitu?
Käyttö	<ul style="list-style-type: none"> • Onko melu, värinä ja lämpötila huomioitu? • Onko operaattorin tehtävät huomioitu?
Kunnossapito	<ul style="list-style-type: none"> • Onko huolto- ja kunnossapitotoimet huomioitu
Kustannukset	<ul style="list-style-type: none"> • Pysytäänkö asetetussa budjetissa?

Aikataulu	<ul style="list-style-type: none"> • Onko käyttö- ja lisäkustannukset huomioitu? • Onko aikataulu realistinen? • Onko aikataulua mahdollista nopeuttaa?
-----------	--

Taulukko 1. Asialista suunnitteluprosessin tueksi. [8, s.4]

Esitetty asialista on lähinnä viitteellinen ja sen lopullinen sisältö riippuu suurissa määrin suunniteltavan järjestelmän tyypistä ja laajuudesta.

Kun ratkaisu on kehitelty siihen pisteeseen, että konstruktioehdotus on vahvistettu eli järjestelmän rakenteen suunnittelu sekä tärkeimmät piirustukset ovat valmiita, voidaan aloittaa yksityiskohtien suunnittelu sekä järjestelmän optimointi pää- ja sivutoimintojen tehostamiseksi.

2.4.2 Optimointi

Optimoinnin tason määrää järjestelmän laajuus ja halutut ominaisuudet. Monissa tapauksissa optimointi on suoritettu, kun on laskettu tärkeimpien ominaisuuksien ja vaatimusten toteutuminen määritettyihin rajoihin. Usein kuitenkin joudutaan tekemään tarkempaa laskentaa, mikäli halutaan maksimoida tai minimoida tiettyjä ominaisuuksia. Tällaisia ominaisuuksia voi olla esimerkiksi[8]:

- Tehonsiirtokyvyn maksimointi
- Varmuuden maksimointi
- Tarkkuuden maksimointi
- Nopeuden maksimointi
- Hyötysuhteen maksimointi
- Hinnan minimointi
- Kulumisen minimointi
- Painon minimointi

Optimointitehtävä voi muodostua yllättävänkin vaikeaksi, mikäli järjestelmässä on useita rajoittavia tekijöitä, jotka ovat välttämättömiä täyttää kaikissa tilanteissa. Optimointitehtävässä on tarkoitus löytää kriittiset kohdat, jotka vaikuttavat optimoitavaan kohteeseen. Lisäksi on ymmärrettävä optimoinnin tuottamat sivuvaikutukset sekä vaikutukset toimintoihin ja rajoituksiin.

Johnsonin optimointimenetelmässä käytetään kahta eri menetelmää järjestelmän ominaisuuksien ja suureiden optimointiin[9]:

1. Muodostetaan yhdelle halutulle optimoitavalle ominaisuudelle primäärinen suunnitteluyhtälö (PSY). Olennaisille sivuvaikutuksille ja sivutoiminnoille muodostetaan sekundääriset suunnitteluyhtälöt (SSY) sekä rajoituksille rajoittavat yhtälöt (RY). Muille suureille määritetään vain hyväksyttävissä olevat rajat.

2. Annetaan kaikille optimoitaville ominaisuuksille painokertoimet ja muodostetaan näistä yksi yhteinen primäärinen suunnitteluyhtälö (PSY) ja tälle sekundaariset - ja rajoittavat suunnitteluyhtälöt.

Käytännön tilanteissa on helpompi määritellä hyväksyttävyyden rajat, kuin ominaisuuksien painokertoimet. Tämän vuoksi ensimmäinen menetelmä on yleensä helpompi.

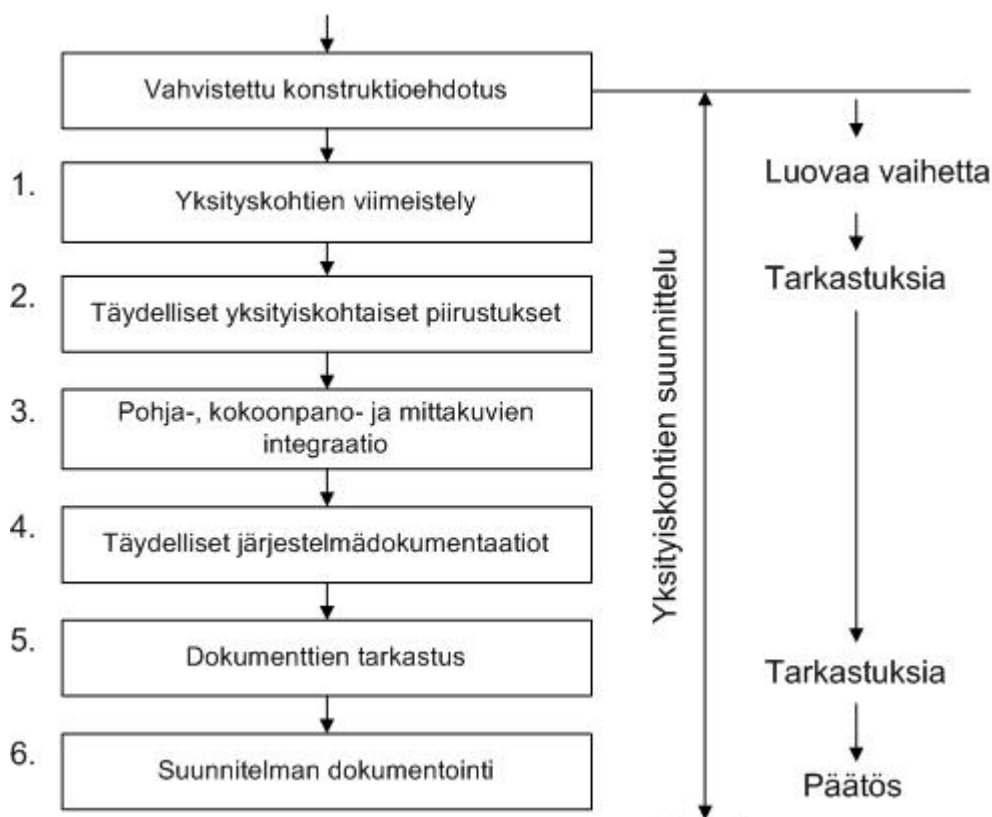
2.4.3 Yksityiskohtien suunnittelu

Yksityiskohtien suunnittelu on vaihe, jossa viimeistellään pohjapiirustukset, muodot, mitat, materiaalit pinnanlaatuineen sekä valmistusmenetelmät ja -kustannukset. Kuitenkin tärkein tehtävä tässä vaiheessa suunnittelua on tarvittavien dokumenttien tuottaminen ja viimeistely. Tarvittavia dokumentteja ovat yksityiskohtaiset mittakuvat, kokoonpanokuvat osaluetteloineen, kuljetus- ja laadunvalvontadokumentit sekä käyttö-, valmistus- ja huolto-ohjeet.

Yksityiskohtien viimeistely voidaan jakaa karkeasti kolmeen vaiheeseen:

1. Viimeistellään yksityiskohtaiset piirustukset sisältäen optimoidut muodot, materiaalit, pinnanlaadut, toleranssit sekä sovitteet. Myös tällöin, kuten koko prosessin ajan, on pyrittävä kustannustehokkuuteen ja helppoon valmistettavuuteen.
2. Määritetään yksittäisten komponenttien integraatio järjestelmään sekä kokoamisjärjestys. Tämä vaikuttaa laajassa järjestelmässä suuresti valmistuksen aikatauluun sekä komponenttien toimitusajankohtiin.
3. Viimeistellään ja tarkistetaan vaadittavat dokumentit. Tarkastuksessa tulee ottaa huomioon ainakin seuraavat seikat:
 - Yleiset sekä talon sisäiset standardit ja vaatimukset
 - Mittojen ja toleranssien tarkkuus
 - Valmistusmenetelmien määrittäminen
 - Komponenttien ja osien saatavuus

Kuvassa 5. on esitetty yksityiskohtien suunnitteluprosessi.



Kuva 5. Yksityiskohtien suunnitteluprosessi.

Yksityiskohtien suunnitteluvaiheessa suunnittelijan on käytävä kaikki kohdat huolellisesti läpi. Yksityiskohtien huomiotta jättämisellä tai välinpitämättömyydellä on vakavia seurauksia tekniseen toimivuuteen, valmistusprosessiin sekä toimintavirheiden minimointiin. [5]

2.4.4 Luotettavuus

Järjestelmän luotettavuudella tarkoitetaan järjestelmän kykyä toimia halutulla tavalla halutulla hetkellä eli todennäköisyys, jolla järjestelmä toimii tietyissä olosuhteissa. Luotettavuuden määrittämisessä:

1. Toivotaan tietynlaista toimintaa, jota
2. edellytetään tietyn ajan ja
3. ilmoitetaan tilastollisena todennäköisyytenä. [8]

Luotettavuuden määrittämisessä käytetyn todennäköisyyden kuvaamiseen on tilastomatiikassa lukuisia tapoja sekä jakaumia. Kattava erittely löytyy esimerkiksi kirjasta *Reliability Engineering and Risk Assessment*[10]. Usein kuitenkin yksinkertaisella laskeutuksella voidaan laskea järjestelmän luotettavuus riittävällä tasolla.

Järjestelmän luotettavuus voidaan esittää myös seuraavasti jaoteltuna kahteen eri osaan:

1. Luotettavuus – Todennäköisyys, jolla järjestelmä suorittaa toiminnon ilman virhettä
2. Käytettävyys – Todennäköisyys, jolla järjestelmä ei ole virhetilassa annetulla hetkellä

Järjestelmän toimintaa voidaan pitää hyvin luotettavana kun sekä luotettavuus, että käytettävyys ovat yli 98%. [11]

Huonon luotettavuuden voidaan sanoa karkeasti johtuvan joko huonosta suunnittelusta, huonosta valmistuksesta, huonosta käytöstä tai huonosta onnesta[8]. Viimeisestä kohdasta voidaan kysyä, että onko suunnittelu hyvää, jos onnella on vaikutusta toimintaan?

2.4.5 Testaus ja arvostelu

Järjestelmän toiminnassa pyritään tiettyyn määriteltyyn tasoon, josta poikkeaminen saattaa aiheuttaa taloudellisia toimenpiteitä tehtyjen sopimusten mukaan. Järjestelmän tilaaja voi vaatia sakkoja, mikäli järjestelmä ei toimi määritetyllä luotettavuustasolla tai vastaavasti antaa bonuksia, mikäli luotettavuustasot ylitetään.

Yleisiä teollisuusjärjestelmän testaus- ja arvostusmenetelmiä ovat FAT- (*Factory Acceptance Test*) sekä UAT/SAT- (*User Acceptance Test/Site Acceptance Test*) testit. FAT-testissä järjestelmä testataan ennen asennusta varsinaiseen käyttökohteeseen. Testissä varmistetaan järjestelmän haluttu toiminta ennen kuljetusta ja asennusta kohteeseen. Näin voidaan minimoida muun muassa tuotannon mahdollisen seisakin kesto sekä asennukseen käytetty aika. SAT- tai UAT-testissä varmistetaan järjestelmän haluttu toiminta järjestelmän toimituksen jälkeen. Rajat testin hyväksymiselle ja toimenpiteet näistä poikkeamiselle on määritelty kauppasopimuksessa.[12; 13]

3 ROOTTORIN MAGNEETTIEN AUTOMAATTINEN LADONTAJÄRJESTELMÄ

Roottorin magneettien ladonnan automatisointi on KONE industrial Oy:n Hyvinkään koneistotehtaalle tehtävä tuotannon tehostamisprojekti KONE Oyj:n toimesta yhteistyössä Sermatech Oy:n kanssa. Projekti on osa isompaa, myöhemmin toteutettavaa kokonaisuutta, jossa on tarkoitus automatisoida koko magneettien liimausprosessi. Liimausprosessin automatisoinnilla pyritään tuotannon tehostamiseen, inhimillisten virheiden poistamiseen sekä työturvallisuuden parantamiseen. Liimausprosessin automatisointi koskee uusia NMX-tuoteperheen moottoreita, jotka tulevat korvaamaan vanhemmat MX-moottorit.

Kappaleessa 3.5. on määritetty halutun järjestelmän tavoitekonstruktio ja spesifikaatio vaatimuksineen. Projektispesifikaatiota on hieman muokattu alkuperäisestä opinnäytetyöhön sopivampaan muotoon.

3.1 Taustatietoa

Liimausprosessi on kokoonpanon vaihe, jossa vetopyörän rautapinnalle liimataan kestomagneetit, jonka jälkeen vetopyörästä tulee roottori. Prosessi on nykyisellään täysin manuaalinen liiman annostelua ja liimauspuristimen asennusta lukuun ottamatta.

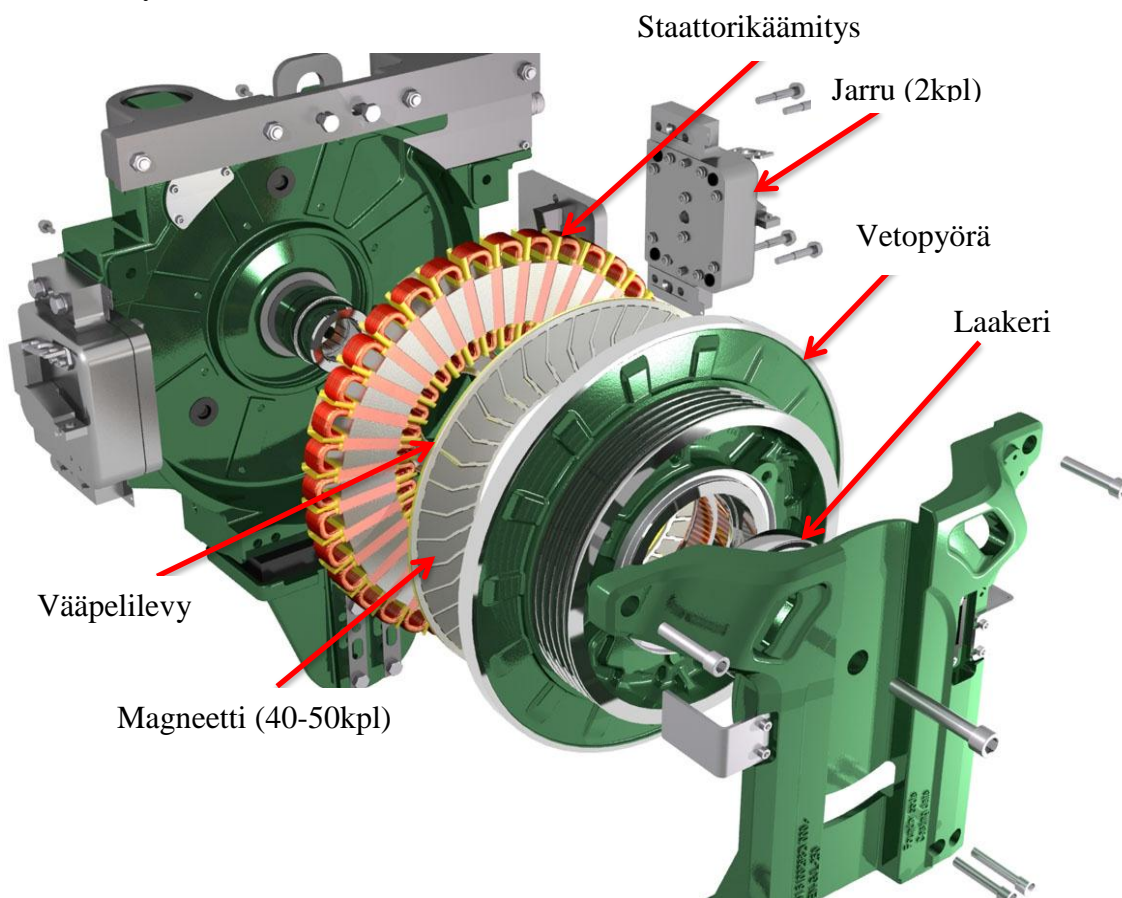
3.1.1 Moottorin rakenne ja toiminta

NMX-tuoteperhe sisältää hissien moottoreita sekä konehuoneellisiin, että konehuoneetomiin ratkaisuihin. NMX-tuoteperhe koostuu tällä hetkellä kahdesta erilaisesta moottorista, joista molemmista on kaksi eri versiota nimellisen nostokyvyn mukaan. Nämä jakaantuvat edelleen erilaisiin variantteihin sähköistyksen, köysityksen sekä asennustavan mukaan. Tässä työssä ei ole kuitenkaan syytä keskittyä kuin neljään päätyyppiin, sillä liimausprosessi on identtinen kaikilla varianteilla. Kyseiset moottorityypit ovat:

- NMX07-480kg
- NMX07-680kg
- NMX11-1000kg
- NMX11-1150kg

Kyseessä on aksiaalivuokoneisto staattorikäimillä. Aksiaalikoneiston avulla moottori saadaan lyhyemmäksi kuin tavallisella radiaaliratkaisulla, joka mahdollistaa muun mu-

assa johteeseen kiinnitettävän konehuoneettoman ratkaisun. NMX-koneiston räjäytyskuva on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. NMX-koneiston räjäytyskuva.

Johdettaessa vaihtosähkö staattorikäämitykseen, saadaan se siirtymään staattorin navasta toiseen vaihtosähkön taajuudella. Roottorin magneetit seuraavat syntyvää pyörivää magneettikenttää ja roottori alkaa pyöriä. Roottorikokoonpano koostuu vetopyörästä, magneetit muotolukitsevasta liimauslevystä eli vääpelilevystä, kestmagneeteista sekä magneettien päälle liimattavasta päälilevystä. Vetopyörän köysiuurissa menevän vaijerin toinen pää kytkeytyy hissien koriin ja toinen pää vastapainolle. Näin moottorin pyörimissuuntaa vaihtelemalla voidaan joko nostaa tai laskea koria. Koneiston jarrut pitävät korin paikallaan pysähdyksen aikana sekä toimivat hätäjarruna esimerkiksi sähkökatkon aikana.

Magneetteja on neljää eri kokoa, jotka määräävät koneiston nostokyvyn yhdessä staattorin käämin kanssa. Jokaisesta magneetista on kaksi eri versiota magnetoimis suunnan mukaan. Mitä suurempi on magneetin koko, sitä tehokkaampi moottori on. NMX07-480kg ja NMX07-680kg sekä NMX11-1000kg ja NMX11-1150kg moottoreiden roottorit eroavat toisistaan ainoastaan magneettien ja vääpelilevyn koon perusteella. Toisin sanoen samasta vetopyörästä voi liimata kaksi eri roottorikokoonpanoa riippuen kummat magneetit vetopyörään liimataan.

Vääpelilevyksi nimitetään muotoon muovipuristettua levyä, joka lukitsee magneetit oikeille paikoilleen roottorin rautapinnan päälle. NMX07-moottorin roottoreissa on 40

magneettia ja NMX11-moottorin roottoreissa 50 magneettia. Kestomagneetit asetetaan vääpelilevyyn vuorotellen kumpiakin magneettiversioita, eli magneettien S- ja N-navat vuorottelevat. Roottorin päälilevy on lasikuidusta valmistettu levy, joka suojaa magneetteja sekä tasaa roottorin pinnan.

3.1.2 Kestomagneetit

Käytettävät kestomagneetit ovat valmistettu neodyymistä [Nd], raudasta [Fe] ja boorista [B]. Neodyymi kuuluu harvinaisten maametallien ryhmään ja siitä saadaan valmistettua voimakkaimmat tunnetut kestomagneetit, jolloin sillä voidaan korvata sähkömoottorien sähkömagneetit.[14]

Magneettien materiaali on ennen valmistusta jauheena, joka puristetaan haluttuun magneettimuotoon. Tämän jälkeen magneetti magnetisoidaan halutun magnetisointisuunnan mukaan. Magnetoinnissa magneettisen metallin hiukkasten navat orientoituvat magnetoimissuunnan mukaan ja muodostavat magneetin S- ja N-navat. Magneetit ovat suhteellisen pienestä koostaan huolimatta todella voimakkaita ja lisäksi hauraita, jolloin ne rikkoutuvat äkillisistä iskuista helposti.

Magneettien voimakkuus ja käyttäytyminen on yksi tärkeimmistä huomioon otettavista asioista järjestelmän suunnittelussa. Magneettien suuren voiman vuoksi magneetteja käsittelevät toimilaitteet tulee mitoittaa niin, että toimilaitteet pystyvät varmasti suorittamaan halutut toimenpiteet ilman ei-toivottuja liikkeitä. Magneettien herkün rikkoutumisen vuoksi laitteistolta vaaditaan tarkkuuta ja helppoa puhdistettavuutta.

3.1.3 Nykyinen prosessi

Nykyinen liimausprosessi on täysin manuaalinen lukuun ottamatta liiman annostelua, joka määräytyy automaattisesti käyttöpaneelistä valitun liimattavan roottorikokoonpanon mukaan sekä liimauspuristimen asennusta. Liimaamossa valmistetaan sekä NMX-että MX-moottoreiden roottorit.

Manuaalinen liimausprosessi etenee pääpiirteittäin seuraavasti:

1. Vetopyörä saapuu vetävää rullarataa pitkin liimauspisteelle.
2. Operaattori lukee vetopyörän viivakoodin.
3. Operaattori valitsee käyttöpaneelistä liimattavan roottorikokoonpanon.
4. Operaattori puhdistaa vetopyörän liimauspinnan.
5. Operaattori levittää liiman vetopyörän liimauspinnalle.
6. Operaattori annostelee magneettien ladonnan puskurina toimivan liimakerroksen liimauspinnalle.
7. Operaattori asettaa vääpelilevyn liimauspinnalle.
8. Operaattori latoo magneetit käsin vääpelilevyn koloihin.
9. Operaattori levittää liimakerroksen magneettien päälle.
10. Operaattori asettaa päälilevyn magneettien päälle.

11. Päälilevyyn liimataan roottorin viivakooditarra.
12. Järjestelmä asentaa ja kiristää liimattuun roottoriin liimauspuristimen.
13. Järjestelmä lähettää roottorin uuniin.

3.2 Kehitystarve

Magneettien suuresta voimasta ja voiman luonteesta johtuen käsin tehtävässä ladonnassa ei voida välttyä käsiin kohdistuvilta vammoilta ja kolhuilta. Aika ajoin sormet jäävät puristuksiin magneetin ja rautapinnan väliin tai magneetti hajoaa rautapintaan, jolloin magneettisirpaleet sinkoutuvat joka suuntaan. Työturvallisuuden parantaminen onkin tässä tapauksessa yksi tärkeimmistä syistä kehitysprojektin aloittamiselle. Tämän lisäksi magneettien ladonnan automatisoinnilla pyritään[15]:

- Kasvattamaan volyymia
- Parantamaan työturvallisuutta
- Parantamaan laatua
- Parantamaan laadunvalvontaa
- Parantamaan jäljitettävyyttä
- Laajentamaan koko liimausprosessi tulevaisuudessa automatisoiduksi.

Yksittäisten magneettien voimissa saattaa olla suuriakin eroja, joita ihmisen voi olla vaikea huomata, jotka kuitenkin anturin tai vaa'an avulla saadaan helposti ja luetettavasti mitattua. Nykyisten konenäköjärjestelmien avulla on mahdollista havaita magneeteissa olevat virheet ja halkeamat helposti sekä paikoittaa asennuskohdat tarkasti.

Näin tehtiin päätös alkaa kehittämään magneettien ladontaa automatisoituun suuntaan. Tässä vaiheessa automatisointi koskee vain liimausprosessin kohtaa 8. (Luku 3.1.2.), mutta myöhemmässä vaiheessa on automatisointi tarkoitus laajentaa koskemaan koko liimausprosessia. Alusta asti oli selvää että automatisointi on toteutettava roboteilla, sillä vääpelilevyn asemoinnissa ja liiman levityksessä on kuitenkin edelleen mittavia vaihtelevaisuuksia operaattorista riippuen. Projekti aloitettiin syksyllä 2013 ja sen on määrä valmistua vuoden 2014 aikana.

3.3 Toimittajan valinta

Järjestelmän toimittajan valinnassa ratkaisevaksi tekijäksi muodostui kokemus magneettien käsittelystä. Toimittajaehdokkaista lähestyttiin projektispesifikaation muodossa jonka perusteella saatiin tarjoukset järjestelmän toimittamisesta. Kahden suuren yrityksen yli valikoitui pienehkö Ulvilalainen insinööritoimisto Sermatech Oy, joka omaa aikaisempaa kokemusta magneettien käsittelystä ja jolla oli selvä visio järjestelmän toteutuksesta.

Esisuunnittelu eli projektispesifikaatio ja vaatimukset syntyi KONE Oyj:n toimesta, tietenkin järjestelmän toimittajan mielipiteitä kuunnellen. Osa perus- ja toteutus-

suunnittelusta toteutettiin myös KONE:n puolesta, muun muassa magneettien pakkauksen suunnittelu.

3.4 Projektin aikataulu

Projektin aikataulu on sidottu KONE Oyj:n politiikan mukaisesti seitsemään virstanpylvääseen, joita kutsutaan *K0...K6 milestone*:eiksi. Myös toimittajalle vapautuvat maksupostit määritetään näiden mukaan. Milestone:it määritellään seuraavasti:

- K0: Konseptitason suunnitelma
- K1: Kehitystyön aloituksen valmistelu, spesifikaatio
- K2: Allekirjoitettu ostosopimus, ensimmäinen maksuposti
- K3: Suunnittelun hyväksyntä, toinen maksuposti
- K4: Hyväksytty FAT-testi, kolmas maksuposti
- K5: Hyväksytty SAT-testi, neljäs maksuposti
- K6: Loppuhyväksyntä, viimeinen maksuposti

Kunkin maksupostin prosentuaalinen osuus kokonaissummasta riippuu projektin luonteesta. Tässä tapauksessa suurin maksuposti vapautuu suunnittelun hyväksynnän jälkeen, koska robottien sekä muiden toimilaitteiden hankinta vaatii enemmän pääomaa.

3.5 Projektispesifikaatio

Projektispesifikaatiossa on kuvattu KONE:en Hyvinkään koneistotehtaan MX1-liimaamon prosessi, vaatimukset sekä laitteisto, jotka vaaditaan automaattisen ladontaprosessin toteuttamiseen halutulla tasolla ja luotettavuudella. Yleisiä projektispesifikaatiossa esiintyviä termejä ovat:

MX1-Liimaamo, Liimaamo: Tila, jossa valmistetaan roottorikokoonpanoja

Liimaussolu: Tila, jossa vetopyörän rautapintaan asetetaan liima ja vääpelilevy

Ladontasolu: Tila, jossa robotti asentaa roottorin magneetit

Roottori: Hissin nostokoneiston roottori (sähkömoottori, aksiaalivuokoneisto)

Vääpelilevy: Muotoon puristettu magneettien ohjauslevy

Magneetti: Roottoriin asetettava kestmagneetti (materiaali: NdFeB)

Magneettien purkulaite: Laite, joka purkaa usean magneetin pinon yksittäisiksi magneetteiksi.

Magneettikasetti: Magneettikasettiin syötetään magneettipinot.

Magneettimakasiini: Magneettimakasiini sisältää magneettien purkulaitteen ja magneettikasetit.

3.5.1 Käsiteltävät tuotteet

KONE luovuttaa järjestelmän toimittajalle dokumentit, jotka vaikuttavat ladontasolun suunnitteluun. Listaus sisältää muun muassa seuraavat tiedot:

- Käsiteltävät roottorikokoonpanot
- Käsiteltävät vetopyörät
- Magneettityypit
- Vääpelilevyt
- Liimat
- Magneettipakkaus.

Dokumentit luovutetaan ladontasolun toimittajalle versio- ja muutostietoineen. Mikäli jokin toimintaan, suunnitteluun tai valmistukseen liittyvä tieto puuttuu tai on puutteellinen, on toimittajan ilmoitettava siitä KONE:lle.

3.5.2 Prosessi

Jäljempänä on kuvattu pääpiirteittäin haluttu liimausprosessi sisältäen automatisoidun magneettien ladonnan. Toimittaja on vastuussa prosessin toiminnasta, vaikka prosessin kuvauksessa ilmenisikin puutteita. Prosessin toimivuus todetaan SAT-testissä, jonka toteutus ja vaatimukset käsitellään kappaleessa 3.10.

1. Vetopyörä saapuu liimaamon liimaussolun pysäyttimelle vetävää rullarataa pitkin.
2. Vetopyörä jatkaa pysäyttimeltä liimauspisteelle operaattorin käskystä.
3. Vetopyörästä luetaan viivakoodi
 - Tiedonsiirto ladontasoluun.
4. Operaattori saa luvan aloittaa liimauksen kun seuraavat ehdot täyttyvät:
 - Magneetteja on riittävästi
 - Uunissa on tilaa
 - Roottorin lämpötila on sallituissa rajoissa
 - Uunin lämpötila on sallituissa rajoissa
 - Liimauspuristinhissi on käyttövalmiina
 - Ladontasolun kaikki toiminnot ovat valmiudessa
 - Operaattorilla on näköhavainto, että ladontasolu on valmiudessa.
5. Operaattori valitsee liimattavan roottorikokoonpanon liimaamon käyttöpaneelista.
 - Tiedonsiirto ladontasoluun
6. Operaattori käynnistää liimauksen.

7. Operaattorilla on n. 6 minuuttia aikaa valmistaa roottorikokoonpano, joka perustuu liimaan kuivumisnopeuteen.
8. Roottorin liimaukseen käytetään 2-komponentti epoksiliimaa
 - Liimavaihtoehdot: Araldite (harmaa) ja Loctite (musta)
 - Pohjakerros (tasainen kerros)
 - Välikerros (vaimennuspalko keskelle magneettipintaa).
9. Operaattori asentaa vääpelilevyn vetopyörälle
 - Vääpelilevy saattaa olla kallellaan johtuen liimasta, vääpelilevyn omasta geometriasta tai operaattorin huolellisuudesta.
10. Esivalmisteltu roottori sisältää seuraavat osat:
 - Vetopyörä
 - Vetopyörän 2D viivakoodi
 - Pohjakerroksen liima
 - Välikerroksen liima
 - Vääpelilevy.
11. Operaattori lähettää roottorin magneettien ladontasoluun vetävää rullarataa pitkin
 - Tiedonsiirto ladontasoluun.
12. Ladontasolu valitsee oikean magneettityypin valitun liimattavan roottorikokoonpanon mukaan.
13. Ladontasolu tarkistaa magneettien laadun ja pinnat.
14. Ladontasolu tallentaa magneetin valmistussarjan tiedot ja roottorikokoonpanon sarjanumerotiedot.
15. Ladontasolun robotti asentaa ja tarkastaa magneetit.
16. Operaattori vastaanottaa ladontasolusta lähetetyn roottorin automaattisesti samaan pisteeseen, josta roottori on lähtenyt ladontasoluun
 - Operaattorilla on mahdollisuus korjata mahdolliset virheet manuaalisesti sekä tarkastaa ladonnan onnistuminen.
17. Operaattori annostelee liimaa magneettien päälle.
18. Operaattori asentaa päällilevyn magneettien päälle.
19. Operaattori lähettää roottorin viivakoodin asennuslaitteelle.
20. Asennuslaite asentaa viivakooditarran.
21. Asennuslaite lähettää roottorin liimauspuristimen asennussoluun.
22. Järjestelmä asentaa liimauspuristimen.
23. Järjestelmä kiristää puristimen.
24. Järjestelmä lähettää roottorin uuniin.
25. Roottori on uunissa 1h 10min.
26. Roottori tulee ulos uunista.
27. Järjestelmä purkaa puristimen roottorista.
28. Roottori siirtyy manuaalisoluun jatkokäsittelyä varten
 - Laakerin ja laakerisuojan asennus

- Roottorin maalaus.

Prosessia tukevat toimenpiteet:

1. Operaattori täydentää ladontasolua magneettilavapakkauksilla
 - Operaattori lukee magneettilavapakkauksista 2D viivakooditiedon.
2. 2D viivakooditieto siirtyy järjestelmään.
3. Operaattori voi syöttää lavan vapaasti valittuun positioon.
4. Ladontasolun magneettien ladontatoiminto ei saa katketa, kun soluun täydenne-
tään magneettilavapakkauksia.
5. Ladontasolu ei hyväksy lavaa ennen kuin lavasta on luettu viivakoodi järjestel-
mään.
6. Mikäli viivakoodin luenta ei onnistu, on operaattorilla oltava mahdollisuus syöt-
tää tieto manuaalisesti järjestelmään.

Edellä esitetty prosessikuvaus pätee kaikkiin valmistettaviin roottorikokoonpanoihin. Tämän lisäksi on varmistettava että liimattava roottorityyppi on vaihdettavissa toiseen ilman erillistä tuotantokatkosta, sillä roottoreita ei valmisteta sarjoissa.

Magneeteissa voi olla säröjä, koloja tai halkeamia, jotka voivat aiheuttaa magneetin hylkäämisen erillisen magneettispesifikaation perusteella. Ladontasolun konenäköjärjestelmän täytyy pystyä erottamaan hylkäämisen aiheuttavat poikkeavuudet sallitusta laatuvaihteluista ja hylkäämään magneetit erilliseen positioon. Mikäli magneetti hajoaa robotilla ladonnan yhteydessä, lähetetään roottori välittömästi takaisin operaattorin korjattavaksi. Operaattori poistaa viallisen magneetin ja latoo magneetit loppuun manuaalisesti nykyisen prosessin mukaisesti. Operaattori puhdistaa särkyneet magneetit ladontasolusta, jolloin ladontasolun ja sen sisältämien laitteiden tulee olla helposti puhdistettavissa.

3.5.3 Laitteistovaatimukset

Seuraavana on kuvattu järjestelmän laitteiston toiminnallisuudelle ja suorituskyvylle asetetut vaatimukset.

1. Magneettien ladonta-aika enintään kolme minuuttia
 - Magneettien lukumäärä NMX07: 40kpl, NMX11: 50kpl
 - 4,5 s tai 3,6 s / magneetti.
2. Roottorin meno-paluu siirtoaika on yhteensä enintään yksi minuutti.
3. Roottorin liimauspisteelle vetävä automaattikuljetin on varustettava pysäyttimellä ennen siirtokuljetinta ladontasoluun, jotta kaksisuuntainen liikenne on mahdollista.
4. Siirtokuljettimen ladontasoluun on oltava kaksiosainen vetävä kuljetin.

5. Ladontasolun rullaradan rullien jako, halkaisija ja kantavuus on suunniteltava NMX roottoreiden mitoituksen ja massan pohjalta.
6. Vetopyörät/roottorit ovat siirrettävä automaattisesti liimauspisteeltä ladontasoluun.
7. Liimattavan roottorin tiedot siirtyvät automaattisesti ladontasoluun.
8. Liimauksen nykyisten ehtojen tulee toimia myös automatisoidun ladontasolun osalta.
 - Kappale 3.5.2. kohta 4.
9. Roottori kulkeutuu ladontasolussa olevalle keskittämislaitteelle.

Magneettipinojen käsittely:

10. Magneettipinot poimitaan magneettilavapakkauksesta poimintarobotilla magneettikasetteihin.
11. Magneettipinon poimintarobotin tarttuja tulee suunnitella siten, että tarttuja ajaa kohti magneettipinoa ja vetää pinon kyytiin ilman, että pakkauksesta kulkeutuu mitään ylimääräistä mukana.
12. Magneettipinon napaisuus on varmennettava anturilla.
13. Magneettipinot tulee puhdistaa roskista ennen syöttämistä magneettien purkulaitteelle.
14. Magneettipinojen tarttuja tulee olla helposti vaihdettavissa vaurioitumisen tai puhdistamisen takia.
15. Toimituksen pitää sisältää varatarttuja
16. Magneettilavapakkaukset tulee olla vapaasti sijoitettavissa solun lavapaikkoihin.
17. Magneettilavojen tyhjentymiseen tulee rakentaa järjestelmä, joka informoi operaattoria etukäteen täyttöajankohdasta määritettyjen valvontarajojen perusteella. Tieto tulee olla havaittavissa ladontasolun ulkopuolelle.
18. Magneettipinot puretaan yksittäisiksi magneeteiksi automaattisella magneettien purkulaitteella magneettimakasiinissa.
19. Magneettipinon pituus voi vaihdella 160 mm – 480 mm välillä.
20. Purkulaite tulee suunnitella siten, että öljyä tai muita kemikaaleja ei voi kulkeutua magneetteihin.
21. Pinoista puretut yksittäiset magneetit tulee olla poimittavissa purkulaitteelta robotilla.
22. Magneettimakasiineilla tulee pystyä purkamaan vähintään kahdeksaa erityyppistä magneettia eri tyyppien lukumäärän mukaan.
23. Järjestelmä tulee olla laajennettavissa vähintään neljälle uudelle magneettityypille eli kahdella lavapaikalla.
24. Magneettilavojen paikat määritetään kiinteillä ohjureilla, jotka ovat tarvittaessa irrotettavissa lattiasta esimerkiksi siivouksen ajaksi.

25. Lavapaikkoja tulee olla vähintään neljä ja niiden määrä on oltava kasvatettavissa vähintään kahdella lisäpaikalla.
26. Magneettilavat pitää olla vapaasti sijoitettavissa vapaisiin lavapaikkoihin.
27. Magneettilavapakkauksen 2D viivakooditieto tallennetaan ladontasolun tiedonkeruujärjestelmään.
28. Magneettipinojen poimintarobotissa tulee olla magneetin napaisuuden tunnistusanturi.

Magneettien laadunvarmistus:

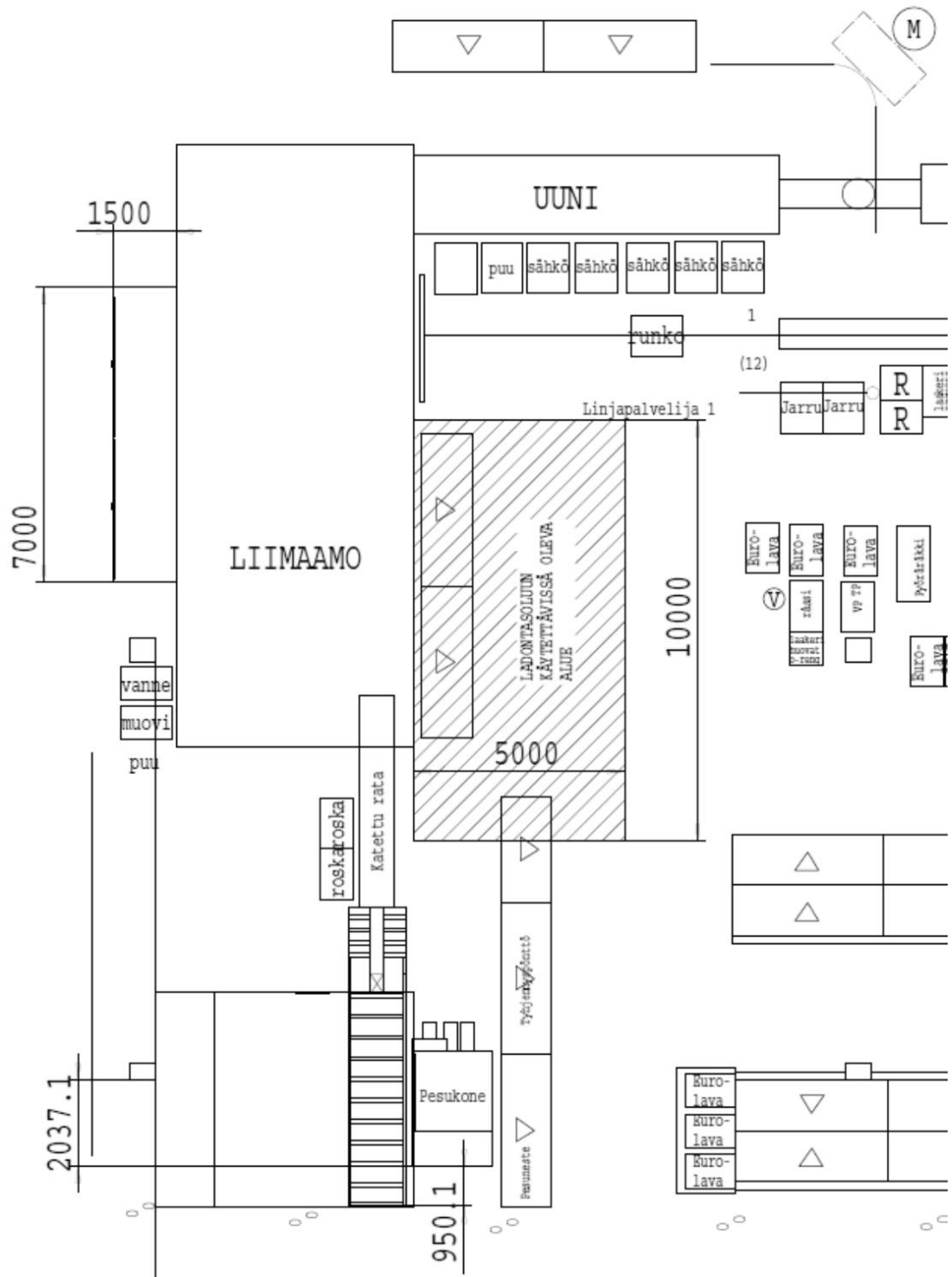
29. Magneettien laatu tulee varmistaa konenäön avulla. Magneetit täytyy kuvata molemmilta puolilta virheiden havaitsemiseksi.
30. Kuvat on tallennettava järjestelmään mahdollisen myöhemmän tarkastelun mahdollistamiseksi.
31. Laadunvarmennusjärjestelmän tulee tunnistaa hylkäyksen aiheuttavat virheet magneeteista. Sallitut virheet kuvataan erillisessä magneettispesifikaatiossa.
32. Viallisesta magneetista on tallennettava kuva järjestelmään sekä magneetti on hylkäyksen jälkeen sijoitettava erilliseen positioon, josta operaattori voi poimia viallisen magneetin solua pysäyttämättä.

Magneettien ladonta roottoriin:

33. Magneettien automaattinen ladonta suoritetaan konenäöllä kahden robotin toimesta.
34. Robottien tarttumat tulee suunnitella siten, että se ei likaannu käytön aikana esimerkiksi roottorissa olevasta liimasta.
35. Robottien tarttumat ja robotin voima tulee määritellä siten, että magneetti irtaantuu turvallisella etäisyydellä tarttumat rautapintaan rikkoutumatta.
36. Tarttuvien on oltava helposti vaihdettavissa vaurioitumisen varalta.
37. Toimituksen pitää sisältää varatarttumat.
38. Tarttuvien sekä robotin mitoitus tehdään yhteistyössä toimittajan ja KONE:en kanssa.
39. Magneetin syöttölaitteen ja magneetin poimintaposition välille on jätettävä kaksi kertaa magneetin syöttösuunnan mukainen pituus magneetin mittausvälineiden lisäämiseksi myöhemmin.
40. Roottori siirretään automaattisesti ladontasolusta takaisin liimaamoon ladonnan valmistuttua.
41. Seuraavat ominaisuudet tulee olla kytkettävissä tarvittaessa pois päältä:
 - Koko ladontasolu tulee olla ohitettavissa siten, että roottorit liimataan nykyisen manuaalisen prosessin mukaan

- Magneettipinojen poimintarobotti on kytkettävissä pois päältä, jolloin operaattori voi manuaalisesti ladata syöttölaitteita
 - Magneettien laadunvarmentamiseen käytettävä konenäköjärjestelmä on kytkettävissä pois päältä
 - Magneettilavojen viivakoodi on oltava manuaalisesti syötettävissä käyttöliittymän avulla viivakoodinlukijan häiriön tai muun syyn vuoksi
 - Ladonta- ja poimintarobotit tulee toimia itsenäisesti riippumatta toisistaan.
42. Liimaamosta tulee olla suora näköyhteys ladontasoluun.
43. Ladontasolu tulee olla suojattu omaksi tilakseen läpinäkyvällä seinäelementillä.
44. ladontasolun on oltava helposti puhdistettavissa magneettisiruista.
45. Toimittaja järjestää ladontasolun yleisvalaistuksen sekä konenäköjärjestelmän vaatiman valaistuksen.
46. KONE Industrial Oy vastaa tarvittavan sähkön syöttämisestä keskukseen.
47. KONE Industrial Oy järjestää ylikulkusillan vetävän rullaradan ylitse liimaussolun ja ladontasolun välille.
48. Toimittajan tulee järjestää järjestelmän virheiden ja lokitiedon tallennus.
49. Järjestelmän tulee tallentaa käytettävyyttä ja luotettavuutta luvut.
50. Järjestelmän tulee tallentaa magneettierän ja roottorikokoonpanon tiedot.
51. Ladontasolussa on oltava etäyhteys toimittajan sekä KONE:en välillä ylläpito- palvelun mahdollistamiseksi.
52. Järjestelmä tulee olla varustettu UPS-systeemillä.
53. Ladontasolun on sisällettävä vähintään seuraavat säädettävät tuotantoparametrit:
- Robottien nouto ja jättökorkeudet
 - Robottien liikenopeuksien säätö
 - Luistien nopeuden säätö
 - Kuljettimien nopeuden säätö
 - Konenäköjärjestelmän kuvausaikojen ja herkkyys säätö
 - Lineaarikuljettimien nopeuksien ja liikealueiden säätö
 - Viivakoodien lukuajan ja herkkyys säätö

Järjestelmän toimittajan tulee järjestää suunnittelukatselmoinnit mekaniikka-, sähkö- ja järjestelmäsuunnitteluratkaisuista. KONE Oyj:n tulee hyväksyä ratkaisut ennen toteuttamisen aloitusta. Järjestelmän toimivuus todetaan myös kappaleessa 3.10. määritetyillä testeillä ja kriteereillä. Käytössä oleva tila järjestelmän rakentamiselle on 3,2 * 12,0 metriä ja on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. Liimaamoon käytettävissä oleva tila (kuva on viitteellinen)

Liimaamosta lähtevä kaksiosainen hihnakuuljetin kuuluu osaksi ladontasolua. Liimaamon ja ladontasolun kuljettimet risteytyvät ja ladontasolun kuljettimeen integroidaan nouseva ja laskeva hihnakuuljetin, joka nousee liimaamon kuljettimen rullien välistä erilisestä kytkimestä operaattorin toimesta. Liimauspisteen ja pesukoneen välissä olevaa rullarataa uusitaan toimittajan toimesta neljän metrin matkalta. Uusittavasta radasta siirretään vetopyörien pysäyttimet uuteen rataan. Liimaamossa olevien kuljetinmoottorien

ja sähkökomponenttien valinnassa on huomioitava ATEX-työolosuhtesäädökset. Valittavien komponenttien on täytettävä EX laiteluokka 2:n vaatimukset[16]. KONE Industrial Oy purkaa nykyisen liimaamon takaseinän uuden solun alueelta ja toimittaja rakentaa puretun seinän tilalle läpinäkyvän turvalasiseinän. Järjestelmän tilaaja vastaa molempien tilojen ilmanvaihdon järjestämisestä.

MX-1 liimaamossa on käytössä Siemens S7 ohjelmoitava PLC-logiikka. Toimittajan pitää liittyä nykyiseen järjestelmään ja toteuttaa prosessi ja laitevaatimukset edellä esitettyjen vaatimusten mukaisesti. Ladontasolun järjestelmän tulee olla avoin, jolloin KONE:lle on mahdollisuus tehdä muutoksia itsenäisesti tarpeen vaatiessa. Logiikan on oltava selkeästi kommentoitu ja rakennettu mahdollisen myöhemmän muutostarpeen vuoksi. Rakenne ja kommentointitapa hyväksytään KONE Oyj:n toimesta.

3.5.4 Käyttöliittymä ja tiedonkeruu

Järjestelmä tuottaa kaksi lokia, joista toinen kuvaa järjestelmän toimintaa (järjestelmäloki) ja toinen tuotteen tiedot (tuotetietoloki). KONE:en tuotannon- ja laadunseurantajärjestelmät lukevat vain toimittajan luomia uusia lokeja eli KONE hakee kaiken tiedon uusista lokeista. Lokirakenteet ja lokien sisällöt tulee määrittellä yhdessä asiakkaan kanssa. Järjestelmälokista on pystyttävä lukemaan KNL (käytettävyys, nopeus, laatu) eng. *OEE (Overall Equipment Effectiveness)*. KNL lasketaan kertomalla käytettävyys, nopeus ja laatu keskenään. Tämän lisäksi lokista on oltava luettavissa käytettävyys (*availability*) sekä käyttöaste (*capacity utilization*). Tuotetietolokista on oltava luettavissa kokoonpanomuuttajat sekä komponenttien jäljitettävyystieto. Molempien lokien rakenne ja formaatti sovitaan yhteistyössä asiakkaan ja toimittajan välillä.

Nykyinen järjestelmä sisältää seuraavanlaiset järjestelmäparametrit:

- Uuni täysi
- Uunin lämpötila
- Magneetit loppu
- Operaattorille annettu liimausaika

ja seuraavanlaiset tuoteparametrit:

- Vetopyörän ID
- Vetopyörän sarjanumero
- Viivakoodin lukuhetki
- Roottorikokoonpanon sarjanumero
- Liimaajan nimikirjaimet
- SAP tuotenimike kuvaus
- Liimausohjelman valinta-aika
- Vetopyörän lämpötila saapuessa asennuspisteeseen
- Vetopyörän lämpötila liimauksen alkaessa

- Ylimääräisten magneettien syöttömäärä nykyisestä järjestelmästä
- Liimamäärä
- Puristimen kiristysmomentti
- Puristimen nimi
- Aika liimauksen aloituksesta hyväksytyyn puristimen kiristysmomenttiin.

Nykyisen liimaamon ja ladontasolun ohjausta varten tarvitaan kaksi käyttöliittymää: Toinen tavallista kokoonpanotyötä varten räätälöity operaattorikäyttöliittymä sekä toinen järjestelmän muokkausta ja päivitystä varten rakennettu hallinnointikäyttöliittymä. Käyttöliittymillä hallinnoidaan automaattista ladontasolua sekä nykyistä liimaamojärjestelmää. PC:t ja käyttöpaneelit tulee sijoittaa siten, että varsinaiseen ladontasoluun ei tarvitse mennä mutta niistä on näköyhteys ladontasolun sisälle.

Operaattorikäyttöliittymän tulee sisältää mahdollisuus roottorin kokoonpanoprosessin hallintaan sekä yksinkertaisten vikatilojen kuittaukseen. Käyttöliittymästä tulee pystyä kytkemään ohi yksittäisiä laitteita sekä tarkkailla laitteiden virheitä.

Hallinnointikäyttöliittymän avulla luodaan järjestelmään uusia roottorikokoonpanorakenteita sekä hallitaan säädettäviä parametreja (luku 3.5.3. kohta 52.). Robottien ja yksittäisten laitteiden referenssi-, kalibrointi- ja manuaaliajot suoritetaan hallinnointikäyttöliittymän avulla kuten myös loki- ja virhediagnostiikan tarkempi tarkastelu ja hallinta. Hallinnointikäyttöliittymällä tulee pystyä muokkaamaan myös seuraavia järjestelmäparametreja:

- Ladontasolu päällä / pois
- Konenäköjärjestelmä päällä / pois
- Magneettipinojen poimintarobotti päällä / pois
- Yksittäisen magneettityypin syöttö päällä / pois
- Yksittäisten laitteiden tiedonsiirto päällä / pois

Käyttöliittymien lisäksi magneettimakasiineja eli magneettien purkulaitteita tulee pystyä ohjaamaan erillisellä makasiinien viereen sijoitetulla käyttökytkimellä käyttöliittymän vikaantuessa.

3.5.5 Magneettien pakkaus

Lopullinen valittava magneettipakkaus muodostuu tarkemmin kuljetusmatkan, hinnan ja vaaditun lavamäärän mukaan. Tarkempi magneettilavapakkauksen valinta tehdään seuraavista vaihtoehdoista:

1. Muovipakkaus (Neorem Oy)
2. RST-pakkaus (Kone Oyj)
3. Pahvipakkaus (Kone Oyj)
4. Pahvipakkaus + suulakepuristetut muovi-insertit (Kone Oyj + Neorem Oy)

Magneettipakkausten spesifikaatiot muodostuvat viimeistellyistä mittakuvista, materiaallilistauksesta ja toleranssitarkastelusta. Kone Oyj:n suunnittelemat pakkausvaihtoehdot käsitellään tarkemmin kappaleessa 3.9. Pakkaussuunnittelu.

Järjestelmän toimittajan tulee suunnitella magneettipinojen poimintarobotin tarttuja sopimaan kaikkiin pakkausvaihtoehtoihin. Tarttujan on pidettävä pakkausta paikoiltaan pinon poiminnan aikana ja estettävä ylimääräiset liikkeet.

3.5.6 Dokumentaatio

Kaiken järjestelmään liittyvän dokumentaation tulee olla valmis ennen projektin loppuhyväksyntää. Dokumentoinnin kieli on ensisijaisesti suomi, mutta piirustuksissa kielenä on englanti. KONE varaa piirustuksille ja dokumenteille numerot toimittajan käyttöön. Näin järjestelmän dokumentaatio saadaan yhdenmukaiseksi käytössä olevan tuotehallintajärjestelmän kanssa.

Toimittajan on laadittava kaikista järjestelmän yksittäisistä osista, laitteista, osakokoonpanoista ja loppukokoonpanoista seuraavat dokumentit:

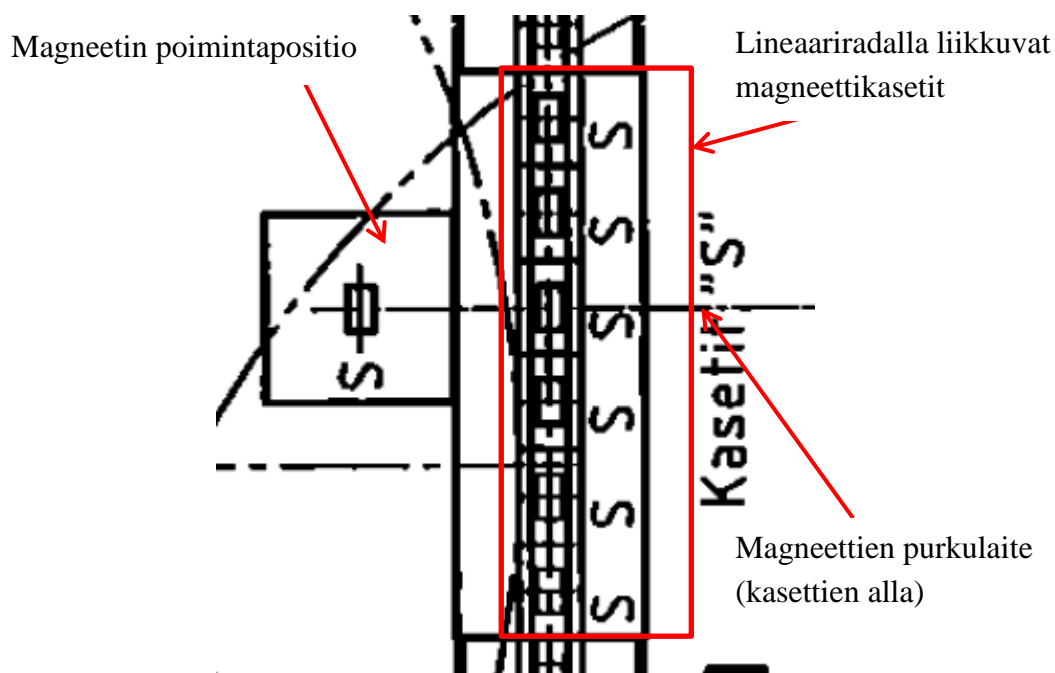
- Mekaniikan mittakuvat .pdf formaatissa
- 3D-Mallit PTC Creo 2.0 ohjelmiston formaatissa
- Sähköpiirustukset .pdf ja .dxf formaateissa
- Logiikan lohkokaaviot .xls formaatissa
- Osaluettelo itse suunnitteluista osista
- Osaluettelo kaupallisista osista
- Hankintakanavat ja tilausnumerot kaupallisiin osiin

Lisäksi tarvitaan kattava varaosalistaus kuluista ja vaihdettavista komponenteista sekä huoltoväleistä. Huoltosopimusta on käsitelty tarkemmin kappaleessa 3.11.

Järjestelmän toimittajan tulee luovuttaa järjestelmän toiminnallisuuskuvauksen sekä SPOF (Single Point Of Failure) analyysin ennen projektin loppuhyväksyntää. SPOF-analyysin avulla selvitetään järjestelmän käytettävyyden ja luotettavuuden kannalta kriittiset laitteet ja pisteet. Robustin toiminnan kannalta on välttämätöntä, että mahdolliset SPOF- kohdat kahdennetaan. [17]

3.5.7 Koulutus

Toimittaja määrittää järjestelmän käyttökoulutuksen tarpeen tuntimääräisesti. Koulutuksen tulee sisältää operaattorien koulutus, huolto koulutus, pääkäyttäjän koulutus sekä järjestelmän hallinnoinnin koulutus. Operaattorien koulutus sisältää järjestelmän käytämisen normaalin tuotantotoiminnan kannalta. Pääkäyttäjän koulutuksen tulee sisältää muun muassa robottien kalibrointi- ja referenssiajot sekä kokoonpanorakenteiden lisääminen järjestelmään. Järjestelmän hallinnointiin koulutetaan tietojärjestelmistä vastaava toimihenkilö

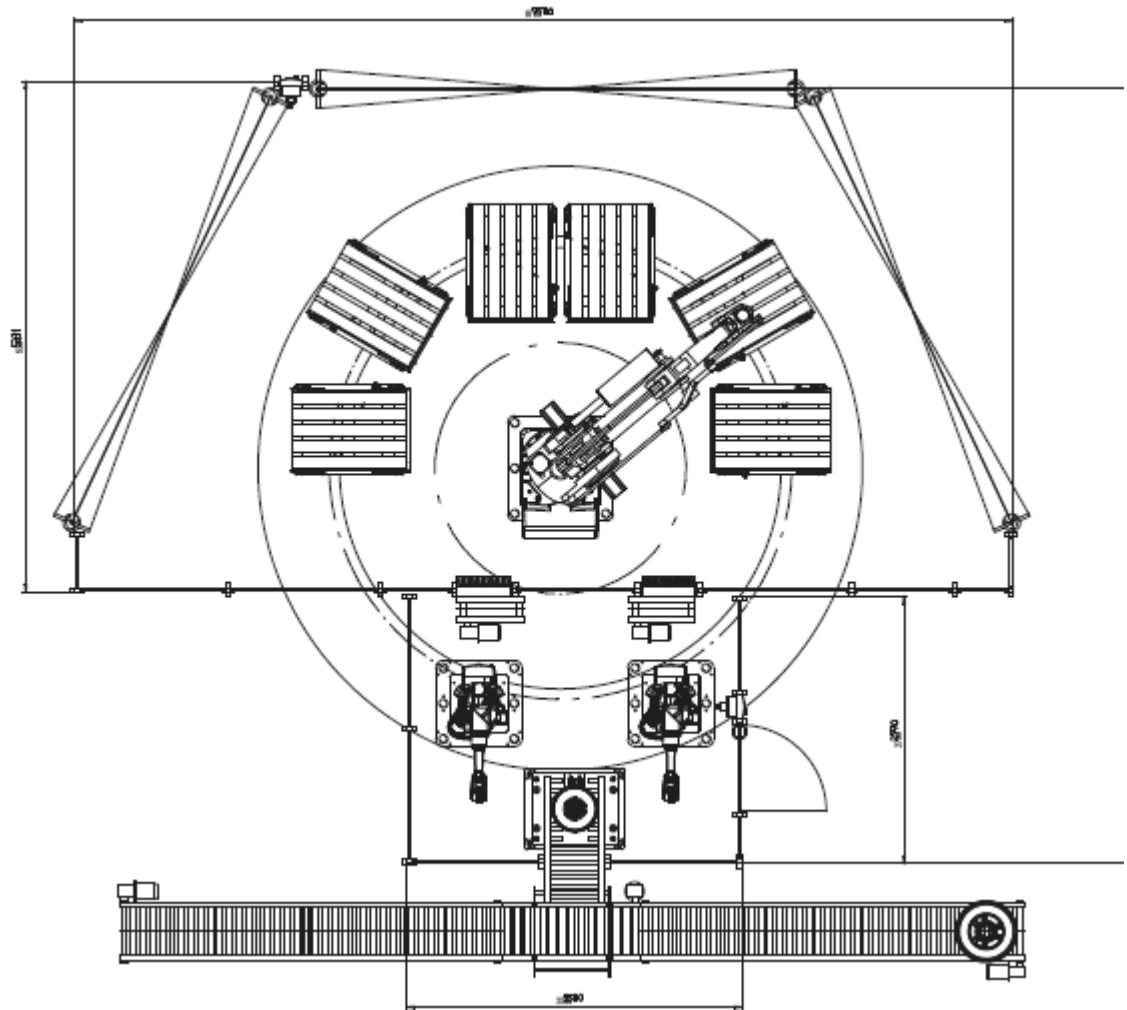


Kuva 9. Magneettimakasiini (S-napaiset)

Ladontarobotit poimivat magneetit poimintapositionista ja asettavat ne vääpelilevyn koloihin konenäön avulla. Ladontarobotit toimivat tietyssä tahdissa jolloin toisen asentaessa magneettia vääpelilevylle roottoriin, toinen poimii magneettia poimintapositionista.

Poimintarobotti liikkuu lineaariradalla ja poimii magneettipinoja magneettilavapakkauksista. Poimintarobotti poimii pinon sekä laittaa pinon magneettimakasiinin kasetteihin konenäön avulla. Magneettikasettien kapasiteetti on riittävän suuri, jotta poimintarobotin liikenoisuus ei muodostu pullonkaulaksi järjestelmän tahtiajalle.

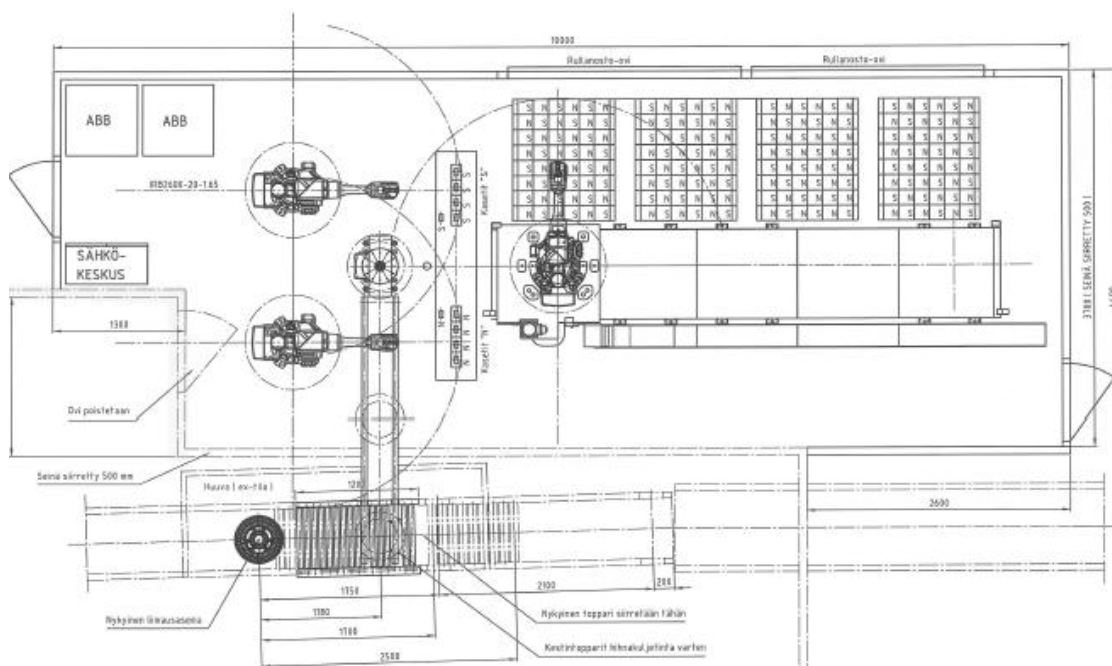
Ensimmäisissä suunnitelmissa magneettien ladonta suoritettiin yhden robotin turvin, mutta tästä ideasta luovuttiin hyvin nopeasti tahtiaikavaatimuksen ilmettyä liian nopeaksi yhdelle robotille. Ensimmäisessä layout versiossa ladonta suoritetaan kahden robotin voimin ja poimintarobotti on kiinnitetty maahan kiinteästi. Ensimmäisen layout versio on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Ensimmäinen layout versio.

Ensimmäisen layout version ongelmana oli poimintarobotin suuri koko sekä lavapaikkojen rajallisuus. Lavapaikkojen määrä oli oltava vähintään kahdeksan kappaletta. Suuren robotin ongelma on korkea hinta sekä liikenopeuksien ja kiihtyvyyksien hitaus. Tämän ratkaisun ongelma on myös ladontasolun viemä tila. Ladontasolu varaa huomattavan määrän tilaa rullaradasta poispäin.

Ongelmat ratkaistiin asettamalla poimintarobotti vaakasuoraan liikkuvalla lineaariradalle ja vaihtamalla ladontarobottien paikat pistoradan sivulle. Paranneltu layout versio on nähtävillä kuvassa 11.



Kuva 11. Toinen layout versio.

Toisessa layout versiossa poimintarobotti liikkuu lineaariradalla, jolloin ladon-
tasolun suurin etäisyys rullaradasta saadaan minimoitua. Tässä vaiheessa ollaan jo lähel-
lä lopullista konstruktiota. Suurimpana ongelmana oli enää robottien itsenäinen toimin-
ta, joka vaatii tilojen eristämistä toisistaan. Magneettimakasiinien kohdalle lisättiin tilat
toisistaan erottava turvalasiseinä.

Toisessa layout versiossa myös magneettien purkulaitteita oli yhtä monta kuin magneettityyppejä. Jotta toimilaitteiden määrä saatiin minimoitua, päätettiin purkulaitteiden määrä pudottaa kahteen ja lisättiin lineaariradalla liikkuvat magneettikasetit purkulaitteiden päälle. Tämän avulla saatiin myös kiinteät poimintapositionit pureuille magneeteille, jolloin robottien ohjaus helpottuu.

3.7 Magneettimakasiini

Magneettimakasiini (kuva 9.) koostuu magneetin purkulaitteesta, sekä sen päällä lineaariradalla liikkuvista magneettikaseteista, kasetteja on oltava vähintään kuusi kappaletta makasiinia kohden. Magneettimakasiini vaaditaan erottelemaan yksittäiset magneetit magneettipinoista. Makasiineja tarvitaan yhteensä kaksi kappaletta, toinen S- ja toinen N-napaisille magneeteille.

Magneetit tulevat noin 160mm korkeissa nipuissa, jolloin magneetteja on tyypin paksuudesta riippuen 22–26 kappaletta yhdessä nipussa. Makasiinien tulee pystyä käsittelemään myös korkeampia nippuja aina 480 mm:iin asti tarvittaessa. Järjestelmän tulee pitää huoli, että jokaista magneettityyppiä on saatavilla ladontaa varten.

Poimintarobotti asettaa magneetit lineaariradalla liikkuvaan magneettikasettiin. Magneettikasetti liikkuu purkulaitteen kohdalle sen mukaan mitä magneettia tarvitaan rakennettavaan roottorikokoonpanoon. Kasetin sisällä olevien pinojen välillä on ei-

magneettinen puskuri, joka estää magneettipinojen iskeytymisen toisiaan vastaan kasettia täytettäessä. Magneettikasettien kapasiteetti tulee olla riittävän suuri, jotta magneettipinojen poimintarobotin nopeus ei muodostu pullonkaulaksi.

Magneettien purkulaite työntää hydraulisesti, pneumaattisesti tai sähköisesti luistin avulla magneettipinon alimman magneetin tasolla olevaan poimintaposition. Luistin liikkeen tulee olla rauhallinen ja hallittu, sillä liian suuret iskunopeudet särkevät magneetit helposti. Magneettien purkulaite tulee suunnitella siten, että kaikki magneettityypit ovat purettavissa samalla purkulaitteella. Purkulaitteen ja poimintaposition välille rakennetaan magneetin voiman ja dimensioiden mittaukseen tarvittava laitteisto.

Koska magneettien särkymiseltä ei voida välttyä, ovat magneettimakasiinin osat oltava helposti purettavissa ja puhdistettavissa magneettien sirpaleista. Magneettimakasiinin rakenteen on oltava sellainen, että öljyn, veden tai epäpuhtauksien pääsy magneettipintaan on estetty. Öljy magneettien pinnassa heikentää liiman kestävyyttä, joka on kriittinen osa tuotteen laatua.

3.8 Robottien valinta ja tarttujan suunnittelu

Magneetit ladotaan roottorin vääpelimäisen koloihin robotin tarttujalla, joka perustuu magneettisen vetovoimaan eli magneetti pysyy tarttujassa oman magneettisuutensa avulla. Ladottaessa magneettia rautapintaan tarttujalla, irtoaa magneetti tarttujasta ja hyppää kiinni rautapintaan etäisyydellä, jolloin magneettinen vetovoima rautapintaan kasvaa suuremmaksi kuin vetovoima tarttujaan. Tästä syystä tarttuja ja robotit ovat mitoitettava niin että magneetti ei irtoa tarttujasta liian etäältä ja rikkoudu. Mikäli etäisyys on liian pieni, saattaa rautapinnalla oleva liima purskahtaa tarttujaan. Liian heikolla robotilla operoitaessa, ei robotin voima enää ohjaa magneettia, vaan magneetin voima vetää robottia.

3.8.1 Ladontarobottien valinta

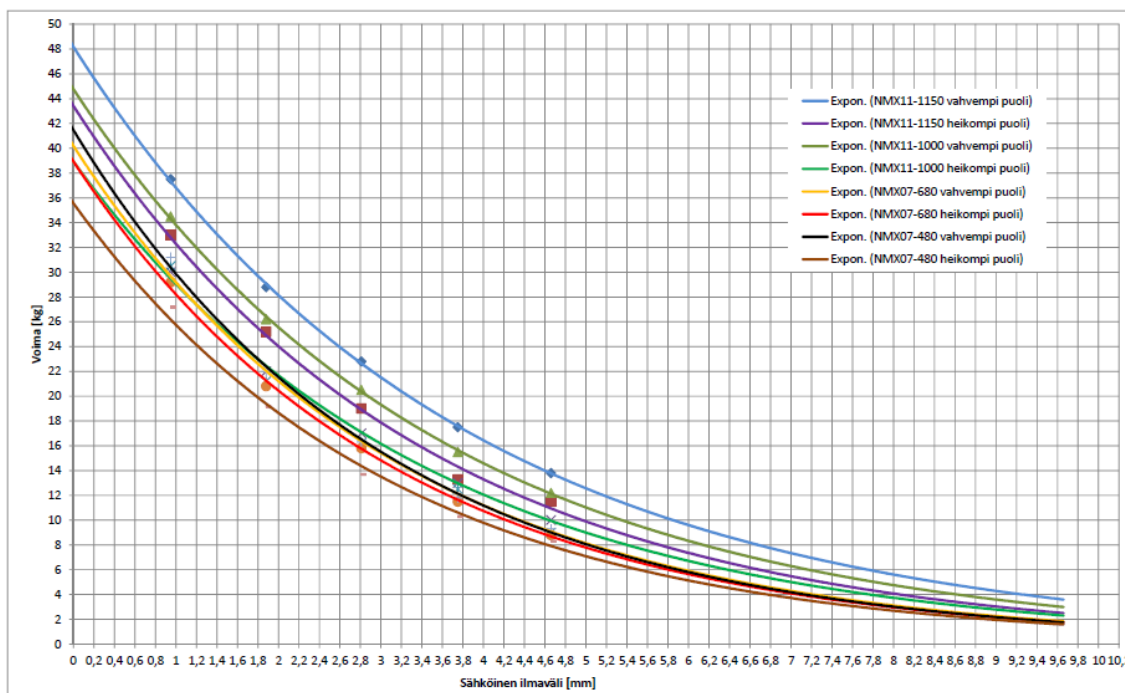
Robottien valinnassa tulee ottaa huomioon magneettien voimat ladonnassa ja magneettipinojen poiminnassa. Näistä kriittisempi tilanne on yksittäisten magneettien ladonta, sillä tällöin sähköinen ilmapäli on pienempi. Sähköisellä ilmapäliä tarkoitetaan tässä tapauksessa magneetin ja magneettisen metallin välistä pienintä etäisyyttä. Voiman suuruus riippuu ladontavaiheesta siitä, kuinka korkealta magneetti päästetään irtamaan roottorin rautapintaan. Sopiva irrotuskorkeus magneetille on kahden ja kolmen millin välillä puskurina toimivan liimakerroksen ollessa samaa luokkaa.

Magneettien voimia eri ilmapäleillä mitattiin yksinkertaisella testillä, jossa roottorin rautapinnan ja magneetin väliin asetettiin ruostumatonta terästä olevia yhden millin paksuisia levyjä. Levyillä määritettiin haluttu sähköinen ilmapäli, jonka jälkeen magneetti asetettiin venymäliuskavaan ja teräslevyjen väliin. Vetämällä vaa’asta saadaan mitattua kohtisuora voima, joka tarvitaan magneetin irtoamiseen rautapinnasta tietyllä ilmapäliä. Kuvassa 12. on nähtävillä kuvattu testijärjestelmä.



Kuva 12: Magneettien voimien testijärjestelmä.

Kuvassa 13. on esitetty kuvaaja eri magneettityyppien voimista sähköisen ilmavälin funktiona. Pystyakselilla on mitattu voima kilogrammoina ja vaaka-akselilla sähköinen ilmaväli eli ruostumattoman teräslevypinkan paksuus. Jokaisesta magneettityypistä otettiin viisi mittaustulosta molemmin puolin ilmaväleillä 1,2,3,4 ja 5 millimetriä ja mittaustuloksien keskiarvoihin sovitettiin eksponenttikäyrä magneettien voiman ollessa kääntäen verrannollinen etäisyyden kuutioon[18]. Voima on ilmoitettu kuvaajassa kilogrammoina, koska käytettyjen robottien suorituskyky on yleisesti ilmoitettu kilogrammoina. Mittaukset on suoritettu molemmin puolin magneettia, sillä hiukkasten orientoituminen vaihtelee magnetointisuunnan mukaan ja vaikuttaa magneetin eri napojen voimakkuuksiin.



Kuva 13. Magneettien voimat ilmvälin funktiona.

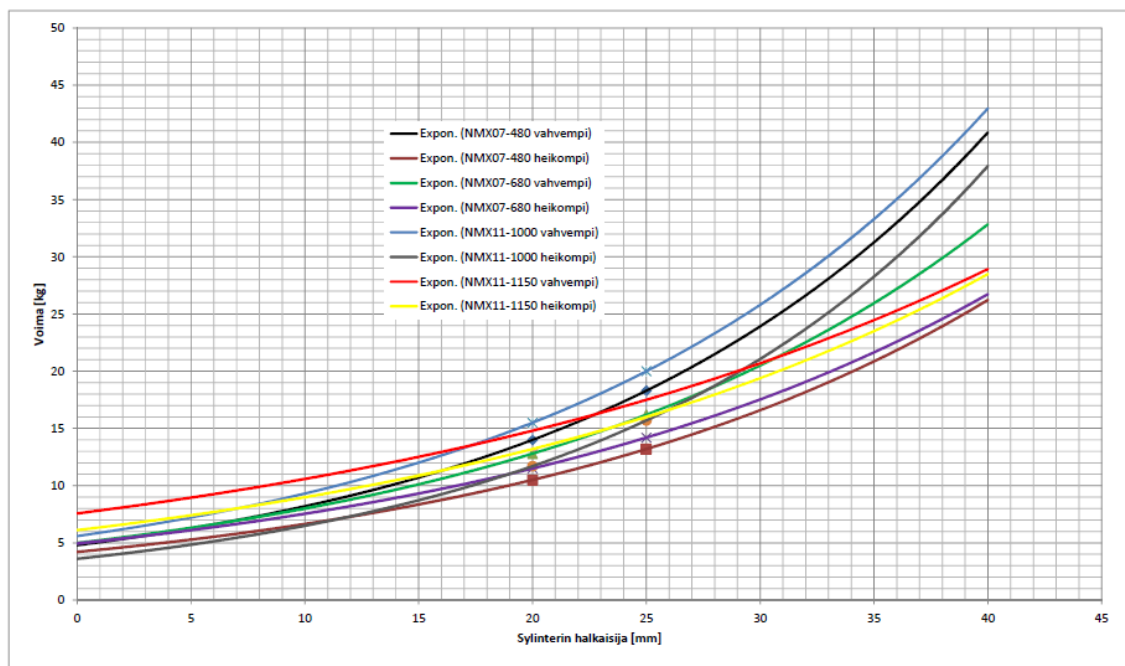
Kuvaajasta voidaan lukea, että ilmvälillä kaksi millimetriä, tehokkaimman magneetin vetovoima rautapintaan on 28 kilogrammaa. Tämän perusteella voidaan todeta 20 kilogramman robotin olevan liian heikko magneettien ladontaan. Käytetyn robottimalliston 45 kilogramman robotin liikenopeudet ja kiihtyvyydet ovat samat kuin pienemmällä robotilla, joten vaihtaminen tähän ei hidasta ladonnan tahtiaikaa. Kuitenkin 45 kilogramman robotin varmuus ei jää kovin suureksi varsinkaan, mikäli ladonta suoritetaan läheltä roottorin rautapintaa, joten lopullinen ladontaa varten asennettava robotti määritetään järjestelmätesteissä. Edelleen suurempi robotti saattaa vaikuttaa ladonnan tahtiaikaan 60 kilogramman robotin tiettyjen akseleiden kiihtyvyyksien ollessa pienemmät kuin pienemmillä roboteilla.

3.8.2 Tarttujan mitoitus

Robotin tarttuja tulee mitoittaa niin, että magneettien irtoaminen tarttujasta rautapintaan tapahtuu sopivalta etäisyydeltä. Käytännössä jokaista magneettityyppiä ei päästä irrottamaan samalta etäisyydeltä, sillä magneettinen voima on riippuvainen pinta-alasta. Koska tarttuja on suunniteltava niin, että tarttumispinta-ala on pienempi kuin pienimmän magneetin pinta-ala, on saman paksuisilla, mutta pinta-alaltaan eroavilla magneeteilla yhtä suuri magneettinen voima tarttujaan. Kuitenkin, roottorin rautapinnan ollessa suuri, on suurempi pinta-alaisella magneetilla suurempi magneettinen voima rautapintaan. Tällöin suurempi pinta-alainen magneetti saavuttaa irtoamiseen vaadittavan voiman kauempana rautapinnasta kuin pienempi pinta-alainen käytettäessä samaa tarttujaa.

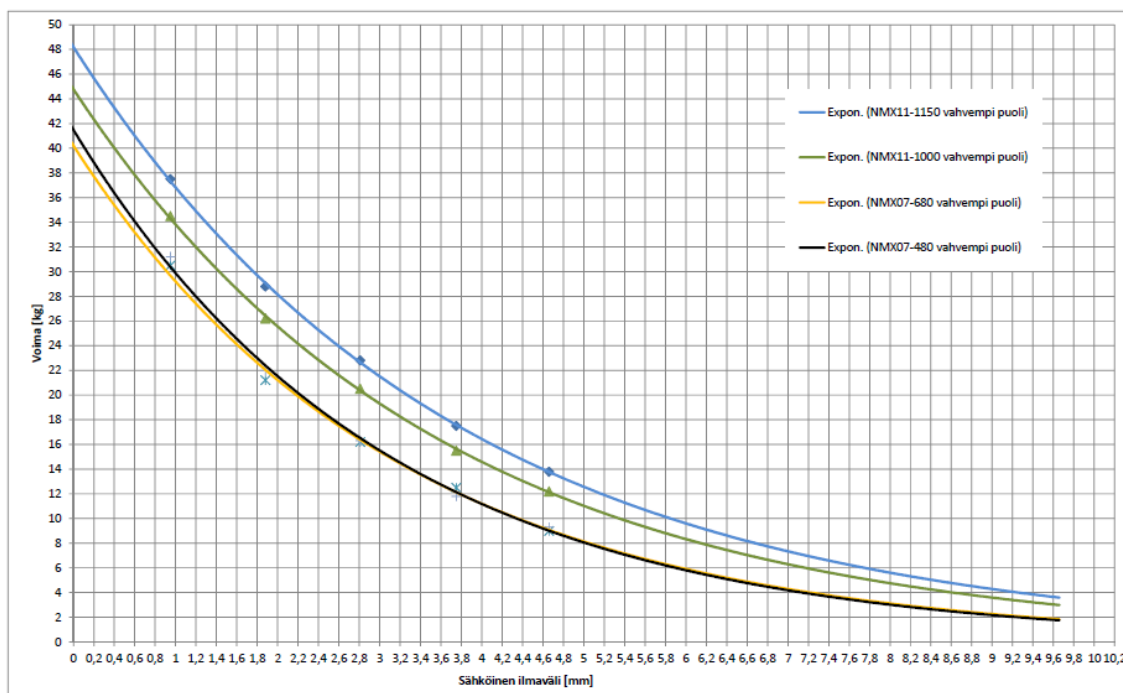
Kuvassa 14. on esitetty kuvaaja eri magneettityyppien kohdistamista voimista pyöreän umpitangon muotoisiin tarttujiin. Mittauksissa on vedetty magneetteja 20 ja 25 mm halkaisijaltaan olevista rautakappaleista. Kuvaajan vaaka-akselilla on sylinterin

halkaisija millimetreissä ja pystyakselille irtoamiseen vaadittu voima. Muuten testi on suoritettu vastaavasti kuin edellä. Koska mittaustuloksia on vain kaksi kappaletta, tulee sovitettuja käyriä käyttää vain suuntaa-antavina.

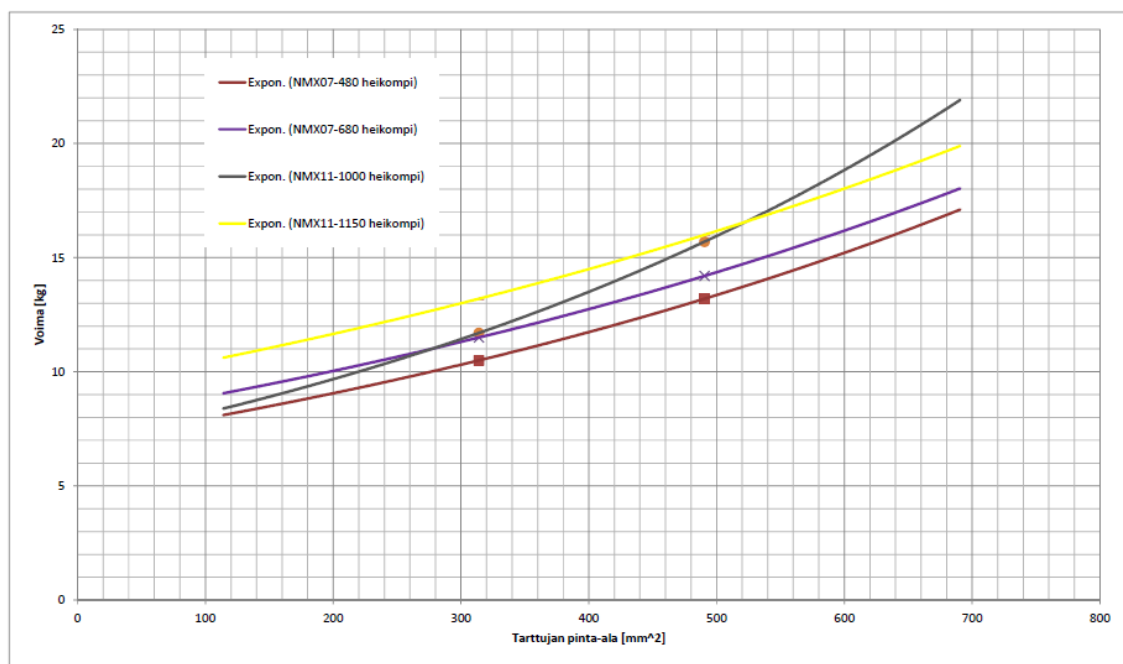


Kuva 14. Magneettien voimat pyörötankoihin

Moottorin vääpelilevyn muotolukitukseen voi magneetin asettaa vain tietyllä tavalla. Tämä tarkoittaa sitä, että magneetin vahvempi puoli on roottorin rautapintaa vastaan ja heikompi puoli tarttujaa vastaan. Nyt tilanne on siis epäedullinen, sillä magneetti irtoaa kauempana rautapinnasta kuin jos tilanne olisi päinvastainen. Kuvissa 15. ja 16. on esitetty kuvaajat, joissa on näkyvissä vain magneettien puolet, jotka koskevat kyseistä tilannetta. Lisäksi Kuvan 16. sylinterin halkaisija on muunneltu pinta-alaksi, sillä sylinterin halkaisijan kasvattaminen ei kuvaa todellista tilannetta, koska halkaisijaa kasvattamalla tehollinen pinta-ala ei kasva halkaisijan kasvaessa isommaksi kuin magneetin leveys.



Kuva 15. Magneettien voimat ilmvälin funktiona.



Kuva 16. Magneettien voimat pyörötankoihin

Taulukossa 2. on esitetty magneetin irtoamisetäisyyksiä tarttujalle, jonka pinta-ala on 700 mm^2 .

Magneetin tyyppi	Voima tarttujaan [kg]	Irtoamiskorkeus [mm]
NMX11-1150	20	3,3
NMX11-1000	22	2,5
NMX07-680	18	2,5
NMX07-480	17	2,7

Taulukko 2: Magneettien irtoamisetäisyydet rautapintaan 700mm² tarttujasta.

Tarttujan pinta-alaa kasvattamalla saadaan irtoamiskorkeuksia pienennettyä. Edellä olevassa taulukossa olevia korkeuksia voidaan pitää sopivina tai hieman korkeina. Lopullinen pinta-ala täytyy määrittää tarkempien ladontatestien perusteella. Tässä testissä ei ole otettu huomioon mahdollisia jo ladottuja magneetteja, jotka vaikuttavat ladottuun magneettiin. Testi onkin vain suuntaa antava sillä magneettien luonteen vuoksi, on etukäteen hankala simuloida magneettien käyttäytymistä ladontavaiheessa.

3.9 Pakkaussuunnittelu

Magneettilavapakkauksen suunnittelu osoittautui luultua vaikeammaksi vaiheeksi, sillä huomioon otettavia asioita on runsaasti. Magneettipinojen etäisyys toisistaan on oltava optimaalinen siltä kannalta, että pinoja mahtuisi mahdollisimman monta yhdelle lavalle, kuitenkin niin, että viereiset magneettipinot eivät vaikuta toisiinsa.

Ensimmäisissä testeissä havaittiin magneettipinoa nostaessa, että viereiset pinot tahtovat nousta samalla, mikäli niiden välimatka on liian pieni. Tämä korjattiin asettamalla ohut magneettinen metallilevy lavan pohjan alle, jolloin magneettipinot seisovat tukevasti pohjaa vasten. Välimatka täytyi kuitenkin pitää tarpeeksi suurena, jotta magneettipinot eivät pyörähtelisi viereisten pinojen orientaation mukaan noston aikana. Myös pinojen ladonta käsin pakkaukseen on lähes mahdotonta, mikäli magneettipinot ovat liian lähellä toisiaan. Sopivaksi magneettipinojen määräksi lavalla määräytyi 6 * 7 eli 42 pinoa.

Hankaluuksia tuotti myös materiaalien valinta. Magneettisuuden vuoksi magneettisten materiaalien käyttö ei onnistu, joten materiaalit rajoittuivat pitkälti ruostumattomaan teräkseen, muoviin, pahviin ja polyuretaaniin. Magneetit ruostuvat helposti, joten pakkauslavat on pakattava VCI- tai vastaaviin ruosteenestopusseihin.

3.9.1 Ruostumaton teräspakkaus

Ensimmäinen idea pakkaukselle oli yksinkertaiset ruostumattomasta teräksestä valmistetut putket, jotka kiinnitettäisiin standardi EUR.-lavaan (Kuva 17.). Kuitenkin testausvaiheessa ilmeni, että magneettipinot pyörivät lähes sattumanvaraisesti putkien sisällä viereisten pinojen orientaation mukaan.



Kuva 17. Ensimmäinen pakkausidea.

Lopulliseen konstruktion tuli siis rakentaa muotolukitus magneettipinolle. Tämä toteutettiin kahden laser leikatun levyn sekä näihin hitsattujen kapeiden ohjausputkien avulla. Tämän idean testaus suoritettiin ensin irrallisilla moduuleilla (Kuva 18.), joiden välimatkaa vaihtelemalla voitiin helposti testata tarvittava magneettipinojen välimatka. Testien avulla selvitettiin kuinka etäällä magneettipinojen on oltava toisistaan, jotta ne eivät vaikuta toisiinsa huomattavissa määrin.



Kuva 18. Irralliset magneetti moduulit.

Liitteessä 1. on kokoonpanokuva ruostumattomasta teräksestä valmistetusta magneettilavasta sekä liitteessä 2. on mittakuva laserleikkeestä. Kuvassa 19. on nähtävillä valmis pakkaus.



Kuva 19: Ruostumattomasta teräksestä valmistettu magneettipakkaus.

Pakkaus sisältää kaksi laser leikattua ruostumatonta teräslevyä, jotka hitsataan ohjausputkien molempiin päihin vastakkain. Näin saadaan materiaalimäärää ja painoa alas. Pakkauksessa on puukehikko ja pohja sekä pakkauksen kulmat ovat vahvistettu kulma-raudoilla. Pohjavanerin alla on ohut metallilevy, joka pitää magneettipinot tukevasti pohjavaneria vasten. Pakkauksen kulmiin on kiinnitetty 50x50mm puupalkit, jotka mahdollistavat useamman pakkauksen pinoamisen päällekkäin. Kuvassa 20. on havainnollistettu magneettipinon muotolukitus pakkaukseen.



Kuva 20: Magneetin muotolukitus

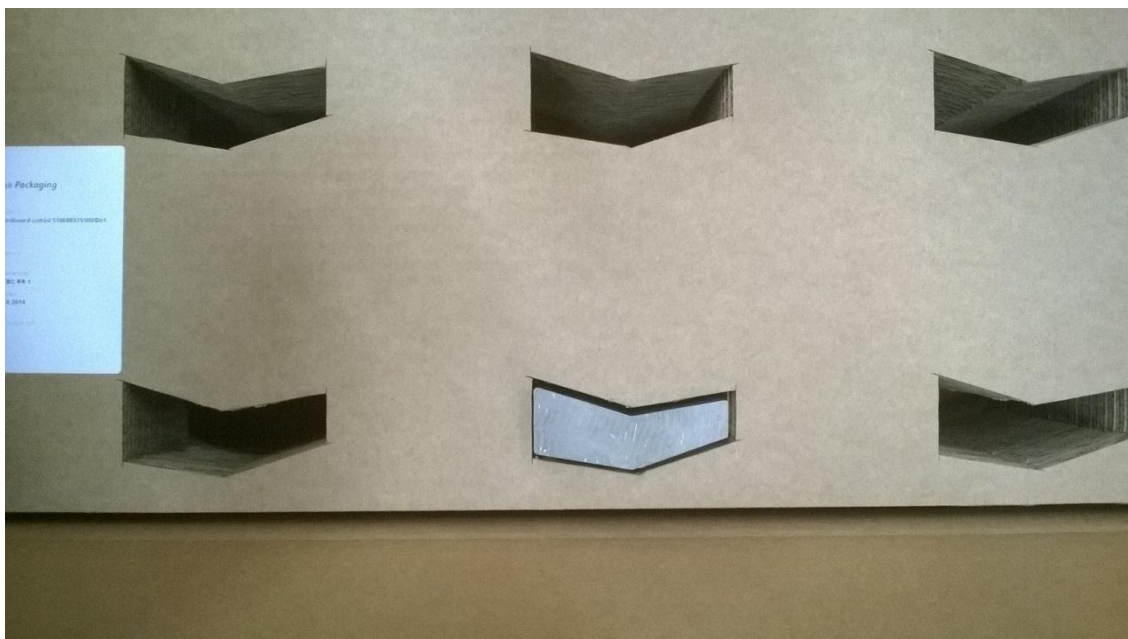
Lavan kustannukset ovat noin 200 euron tietämillä. Korkean hinnan vuoksi tuli ruostumattomalle teräspakkaukselle kehittää halvempi, mahdollisesti jopa kertakäyttöinen, vaihtoehto

3.9.2 Pahvinen magneettipakkaus

Pahvista pakkausta alettiin kehittää pakkauksen kustannusten laskemiseksi. Perus idea on sama kuin ruostumattomasta teräksestä valmistetussa pakkauksessa. Pahvipakkaus sisältää aaltopahviarkkeja, joihin on leikattu magneettien muotoisia reikiä. Näitä arkkeja pinotaan päällekkäin niin paljon, että magneettipinon mitta täyttyy. Liitteessä 3. on koonpanokuva pahvipakkauksesta ja liitteessä 4. mittakuva aaltopahviarkista. Kuvissa 21. ja 22. on esitetty pahvinen magneettipakkaus valmistettuna.



Kuva 21: Pahvinen magneettipakkaus



Kuva 22: Pahvinen magneettipakkaus

Pahvisen magneettipakkauksen kustannukset ovat selkeästi alhaisemmat kuin teräksisen, mutta toimintavarmuus ja kestävyys ovat heikompia. Ongelmana on lähinnä magneettipinon jääminen kiinni aaltopahviarkkiin, jolloin arkki kuluu nopeasti tai repeää. Aaltopahvi imee myös kosteutta, jolloin pahvin laatu heikkenee ja magneetit saattavat ruostua.

3.9.3 Muovinen magneettipakkaus

Kestomagneettien toimittaja osallistui magneettipakkauksen suunnitteluun toivomukseenaan parantaa myös omaa magnetointi- ja pakkausprosessiaan. Toimittaja suunnitteli muovisen magneettipakkauksen, jolloin magneettien magnetointi voitaisiin suorittaa samalla rakenteella, joka asetetaan pakkaukseen. Tämä poistaisi pakkausprosessista yhden vaiheen ja parantaisi työturvallisuutta.

Kokonaan muovinen pakkaus kuitenkin osoittautui liian kalliiksi vaihtoehdoksi, joten tilalle tuli ratkaisu, jossa pahvisen magneettipakkauksen koloja suurennetaan ja koloihin sijoitetaan suulakepuristettu muoviputki, jonka sisään magneettipinot tulevat. Näin säästetään kustannuksissa, mutta vältetään pahvisen pakkauksen huonot puolet. Kuvassa 23. on muoviputki ja magneettipino.



Kuva 23: Suulakepuristetut muoviputket ja magneetit

Lopullisesti valittava pakkaus määräytyy projektin edetessä. Varmin vaihtoehto on ruostumattomasta teräksestä valmistettua lava, joka on toisaalta myös kallein. Todennäköisin vaihtoehto on, että tuotanto aloitetaan teräksisellä lavalla, ja volyymin kasvaessa kehitetään ja testataan halvemmat vaihtoehdot tuotantokäyttöön.

3.10 Hyväksyntäkriteerit

Järjestelmän lopullinen hyväksyntä edellyttää toiminnallisuuden, kapasiteetin, luotettavuuden sekä käytettävyyden mittausta ja hyväksyntää. Hyväksyntäprosessi on jaettu viiteen osaan:

1. Linjan toimintaratkaisujen ja piirustusten hyväksyntä
2. FAT-testi toimittajalla
3. FAT-testi asiakkaalla
4. SAT-testi asiakkaalla
5. Loppuhyväksyntä.

Järjestelmän kapasiteetti on laskettu seitsemän minuutin tahti-ajalle, joka jakautuu magneettien ladontaan (3 min), ladontasolun siirtokuljettimiin (1 min), liimaukseen (2 min) sekä roottorin siirtoon ja puristimen kiinnitykseen (1 min). Kokonaiskapasiteetti lasketaan vuodelle 3-vuorotyössä ilman viikonloppuja. Vuoron pituus on seitsemän tuntia ja vuorossa valmistuu 60 roottoria. Kokonaiskapasiteetti on siis 39600 valmista roottori-kokoonpanoa vuodessa.

Luotettavuuskriteerit on kuvattu taulukossa 3.

FAT-testi	> 97 %
SAT-testi	> 98 %
Loppuhyväksyntä	> 98 %

Taulukko 3. Luotettavuuskriteerit.

Luotettavuus on määritelty seuraavalla kaavalla:

$$\text{Luotettavuus (\%)} = 100\% - \frac{\text{Virheiden määrä (kpl)}}{\text{Valmistuneet roottorit (kpl)}} * 100\% , \quad (2)$$

jossa:

Virheiden määrä = Laitteistosta tai toiminnoista aiheutunut virheiden lukumäärä.

Valmistuneet roottorit = Valmistuneiden roottorien määrä testin aikana.

Käytettävyysskriteerit on kuvattu taulukossa 4.

FAT-testi	97 %
SAT-testi	98 %
Loppuhyväksyntä	98 %

Taulukko 4. Käytettävyysskriteerit.

Käytettävyys on määritelty seuraavalla kaavalla:

$$\text{Käytettävyys (\%)} = 100\% - \frac{\text{Virheen korjausaika (min)}}{\text{Kokonaisaika (min)}} * 100\%, \quad (3)$$

jossa:

Virheen korjausaika = Aika, joka kuluu laitteiston normaaliin toimintatilaan saattamiseksi.

Kokonaisaika = Erikseen määritetty testin kokonaisaika.

3.10.1 FAT-testi toimittajalla

FAT-testin tarkoituksena on tuottaa informaatiota laitteiston ja järjestelmän toiminnasta (toiminnallisuus, käytettävyys ja luotettavuus) ennen siirtoa varsinaiselle paikalleen. Testin kesto aika on neljä tuntia. Testi voidaan jakaa usealle päivälle, jotta toteuttaminen on käytännössä mahdollista liiman kovettumisajasta johtuen (25°C / 168h = 100% lujuus).

Testin kapasiteetti on seitsemän oikein ladottua roottoria tuntia kohden ja ladontasolun tahtiajan tulee olla pienempi kuin viisi minuuttia. Muutoin noudatetaan taulukoissa 3. ja 4. määriteltyjä kriteerejä.

3.10.2 FAT-testi asiakkaalla

Asiakkaalla tehtävän FAT-testin tarkoituksena on varmistaa järjestelmän oikea toiminta sekä mekaanisten asennusten ja laitteiden toimivuus nykyiseen liimaamoon integroinnin jälkeen.

Laitteistolla suoritetaan täydellinen järjestelmän työkierto neljällä kappaleella ja neljällä eri roottorityypillä (NMX07-480, NMX07-680, NMX11-1000, NMX11-1150). Järjestelmän työkierto alkaa kun operaattori hyväksyy liimaussoluun liimattavan veto-
pyörän ja päättyy kun roottori tulee uunista ulos operaattorille manuaalivaihteita varten. Järjestelmän työkierto sisältää kaikki ladontasolun toiminnalliset funktiot.

3.10.3 SAT-testi

SAT-testin pituus on viisi työvuoroa. Yhden työvuoron pituus on seitsemän tuntia, jota käytetään myös käytettävyyden ja luotettavuuden laskennassa. Testin aikana ajetaan kaikkia roottorityyppejä satunnaisessa järjestyksessä. Testin kokonaisaika on 35 tuntia, joka suoritetaan viitenä peräkkäisenä päivänä aamuvuorossa. Testi katsotaan hyväksytyksi kun seuraavat vaatimukset ovat täytetty:

- Luotettavuus 98% tai parempi (sallitut häiriöt 1 kpl / vuoro)
- Käytettävyys 98% tai parempi (sallittu häiriö 8 min / vuoro)
- Ladontasolun tahtiaika on pienempi kuin neljä minuuttia

Mikäli toimittajalle ei pystytä tarjoamaan materiaaleja, jolla voidaan tuottaa täysi volyymi, niin kapasiteetti voidaan mitata solun tahtiaikaa mittaamalla yksittäisillä roottoreilla. Luotettavuuden ja käytettävyyden laskennassa käytetään testin aikana saavutettua volyymia ja testiaika on seitsemän tuntia / vuoro.

Mikäli testi ei ole hyväksyttävissä on toimittajalla mahdollisuus toiseen ja kolmanteen yritykseen aikaisintaan yhden kuukauden jälkeen edellisestä yrityksestä.

Testien lukumäärä on rajattu testien järjestelyistä johtuvien kulujen ja ajan minimoimiseksi. Testi-ajankohdat sovitaan KONE:en ja toimittajan kanssa yhdessä ja molemmat osapuolet järjestävät tarvittavan henkilöstön testin suorittamiseksi.

Toimittaja tekee ladontasoluun tarvittavat muutokset omalla kustannuksellaan ja KONE vastaa ainoastaan komponenttien laadusta. Komponenteissa ilmenevät virheet eivät vaikuta testien hyväksyntään.

3.11 Huolto- ja palvelusopimus

Huoltokutsu annetaan puhelimitse. Huoltokutsun tullessa normaalina työaikana 7.00–15.30 ja kun työ suoritetaan normaalin työajan aikana, työhön ryhdytään kahden tunnin kuluessa kutsun vastaanottamisesta. Jos työtä ei saada suoritettua normaalina työaikana, sovitaan työn suorituksesta tapauskohtaisesti. Hälytysluontoinen työ sovitaan erillisen sopimuksen mukaisesti. Huoltohinnasto määräytyy voimassa olevien hintalehtien mukaan.

Toimittaja sitoutuu suorittamaan huoltotyöt noudattaen voimassa olevia lakeja asetuksia ja viranomais määräyksiä sekä varmistamaan molempien osapuolten henkilöstön työturvallisuuden. KONE antaa toimittajan käyttöön ja hallintaan työn suorittamista varten tarvittavat hallinnassaan olevat piirustukset, dokumentit sekä muun materiaalin.

4 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä työssä kehitetyn järjestelmän spesifikaation perusteella toimittaja rakentaa automatisoidun magneettien ladontasolun. Järjestelmän perussuunnittelu sisältäen yksityiskohtaiset mekaniikka-, sähkö- ja logiikkapiirustukset on aloitettu noin kuukausi ennen tämän tekstin kirjoittamista. Spesifikaation avulla pystyttiin määrittämään tavoitekonstruktio yksityiskohtaisesti, rajoittamatta ratkaisumahdollisuuksia kuitenkaan tarpeettoman paljon. Kuten jokaisessa projektispesifikaatiossa, ilmenee tässäkin ajoittain mahdollisesti epäselviä tai määrittämättömiä asioita. Yhteistyö toimittajan kanssa on kuitenkin molemminpuolista ja tiivistä, joten epäselvät asiat ratkaistaan yhteistyössä nopealla aikataululla. Ladontasolun on tarkoitus olla valmis ja käytössä vuodenvaihteessa 2014/2015.

Magneettilavapakkauksen valinta määräytyy tarkemman mekaniikkasuunnittelun yhteydessä. Ruostumattomasta teräksestä valmistettu lava on testattu ja todettu jo toimivaksi, joten tämä vaihe ei kuitenkaan ole este tavoiteaikataulun toteutumiselle. Jatkokehityksen kohteena on merikuljetusmahdollisuuden implementointi pakkauksiin. Magneettien herkän ruostumisen vuoksi tämä voi vaikuttaa suurestikin pakkausten konstruktiin.

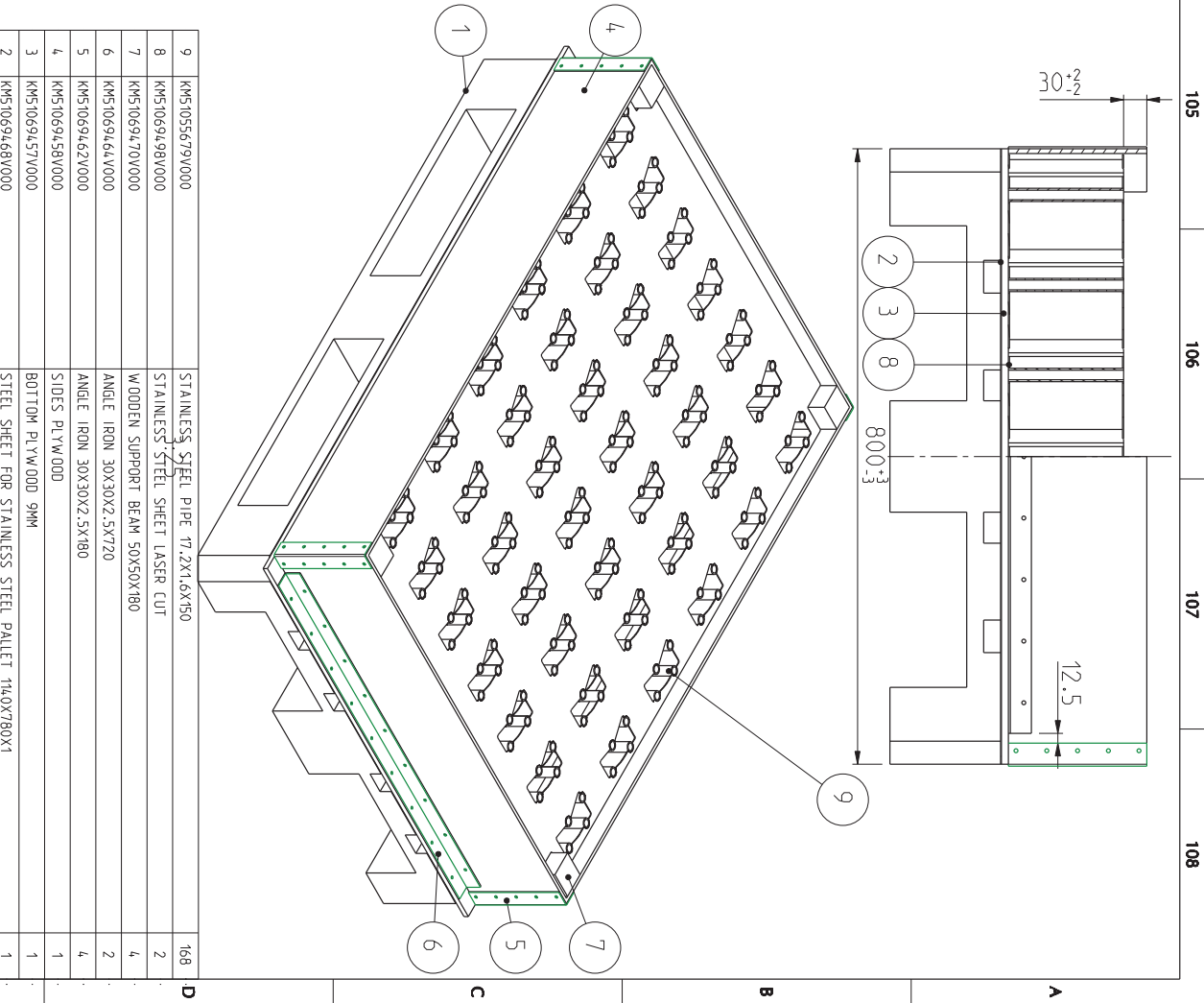
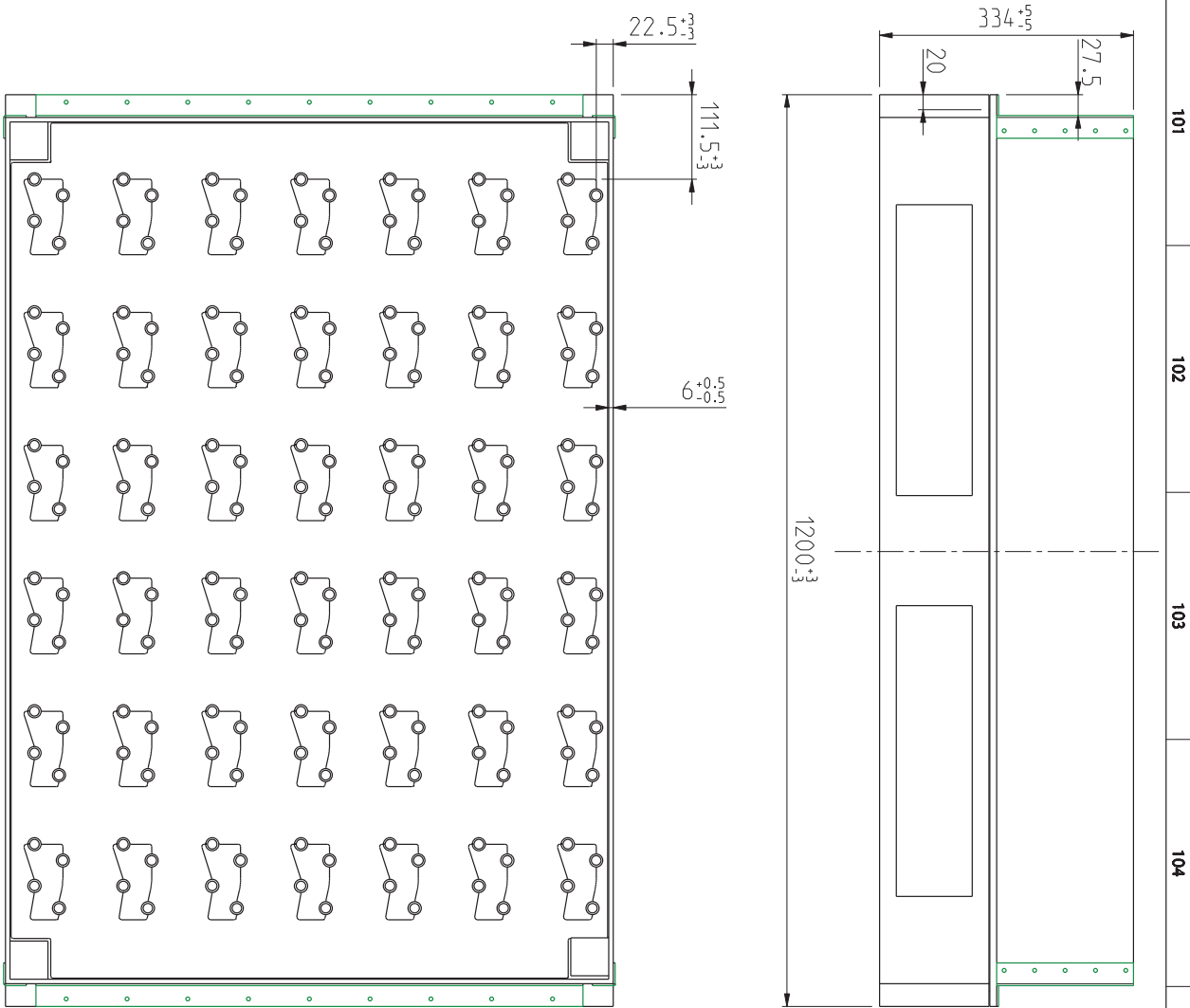
Magneettien voimien mittauksissa havaittiin yllättävän suuri ero magneetin eri puolien erossa. Nykyisessä moottorikonstruktiossa voimakkaampi puoli magneetista on rautapintaa vastaan, jolloin herää kysymys voisiko moottori olla tehokkaampi, mikäli voimakkaampi puoli olisi staattorin pintaa kohden. Magneettien mittausten avulla saatiin selvempi kuva, kuinka suurta robottia todellisuudessa ladontaan vaaditaan ja käsitys robotin tarttujan koosta.

Työ pohjusti kokonaan automatisoidun roottorikokoonpanon kokoonpanoprosessin toteuttamista tulevaisuudessa. Tässä työssä suunniteltu ladontasolu tulee myös pääpiirteittään olemaan osa kokonaan automatisoitua liimaamoaa. Seuraavaan vaiheeseen ladontasolun pistorata voidaan muuttaa kiertäväksi u-radaksi, jolloin tahtiaikaa saadaan kasvatettua, koska voidaan rakentaa jatkuvaa puskuria ladontasolulle. Seuraavan vaiheen aloitus toteutetaan aikaisintaan kahden vuoden kuluttua, jolloin tästä työstä saadaan viitekehykset uuden, laajemman, projektin aloittamiselle.

LÄHTEET

- [1] Aho, Kauko. Konstruktitekniikka I. Tampere 1982, Tampereen teknillinen korkeakoulu. 99 s.
- [2] Airila, M. Karjalainen, A.J. Mantovaara, U. Nurmi, L. Ranta, A. Verho, A. Koneenosien suunnittelu 1. Porvoo, WSOY. 283 s.
- [3] Kivento, Teppo. Esisuunnittelu järjestelmällisen suunnittelun lähtökohtana. Espoo 1991, Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus, Tiedotteita. 65 s.
- [4] Ulrich, Karl T., Eppinger Steven D. Product Design and Development. 1995, McGraw-Hill, Inc. 289 s.
- [5] Pahl, G. Beitz, W. Engineering Design. London 1984, The Design Council. 450 s.
- [6] Wright, Ian. Design Methods in Engineering and Product Design. The University Press, Cambridge 1998, McGraw-Hill Publishing Company. 285 s.
- [7] Weilkiens, Tim. Systems Engineering with SysML/UML: Modeling, Analysis, Design, 2004, The MK/OMG Press. 299 s.
- [8] Aho, Kauko. Konstruktitekniikka II. Tampere 1989, Tampereen teknillinen korkeakoulu. 170 s.
- [9] Johnson, R.C. Mechanical design synthesis with optimization applications. New York 1971, Van Nostrand Reinhold Company. 352 s.
- [10] Henley J. Ernest, Kumamoto Hiromitsu. Reliability Engineering and Risk Assessment. New Jersey 1981, Prentice-Hall, Inc. 568 s.
- [11] Ebeling, Charles E. An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering. Boston 1997, McGraw-Hill Companies, Inc. 486 s.
- [12] Cimperman, Rob. UAT Defined: A Guide to Practical User Acceptance Testing. 2006, Pearson Education. 126 s.
- [13] Inspection 4 Industry LLC. Factory Acceptance Test. 2012. [Viitattu 15.5.2014]. Saatavilla: <http://www.inspection-for-industry.com/factory-acceptance-test.html>
- [14] Neodyymi - magneettien valti. Tieteen Kuvalehti. 2010. [Viitattu 30.6.2014]. Saatavilla: <http://tieku.fi/ib-salomon/neodyymi-magneettien-valti>
- [15] Haastattelu Rahunen, Janne. Component Manager, Machines, Kone Oyj. Haastattelu 17.5.2014.
- [16] ATEX räjähdysvaarallisten tilojen turvallisuus. Tukes. 2003 Turvatekniikan keskus [Viitattu 17.6.2014]. Saatavilla: http://www.tukes.fi/tiedostot/vaaralliset_aineet/esitteet_ja_oppaat/atex_rajahdeopas.pdf
- [17] Lynch, Gary S. Single Point of Failure: The 10 Essential Laws of Supply Chain Risk Management. New Jersey 2009, John Wiley & Sons, Inc, 320 s.
- [18] Fowler, C.M.R. The Solid Earth, Introduction to Global Geophysics. Cambridge 2004, Cambridge University Press. 700 s.

LITE 1: RUOSTUMATON TERÄSPAKKAUS



9	KMS1055679V000	STAINLESS STEEL PIPE 17.2X1.6X150	168
8	KMS1069498V000	STAINLESS STEEL SHEET LASER CUT	2
7	KMS1069470V000	WOODEN SUPPORT BEAM 50X50X180	4
6	KMS1069464V000	ANGLE IRON 30X30X2.5X720	2
5	KMS1069458V000	ANGLE IRON 30X30X2.5X180	4
4	KMS1069462V000	SIDES PLYWOOD	1
3	KMS1069457V000	BOTTOM PLYWOOD 9MM	1
2	KMS1069468V000	STEEL SHEET FOR STAINLESS STEEL PALLET 1140X780X1	1
1	KMS1049078V000	PALLET	1

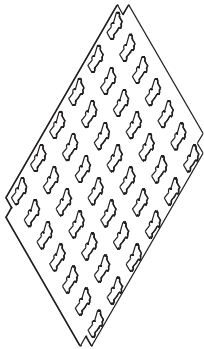
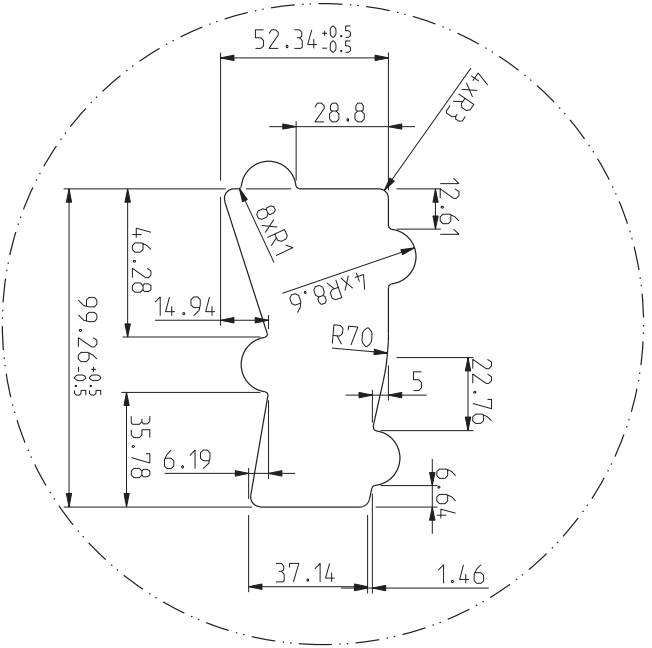
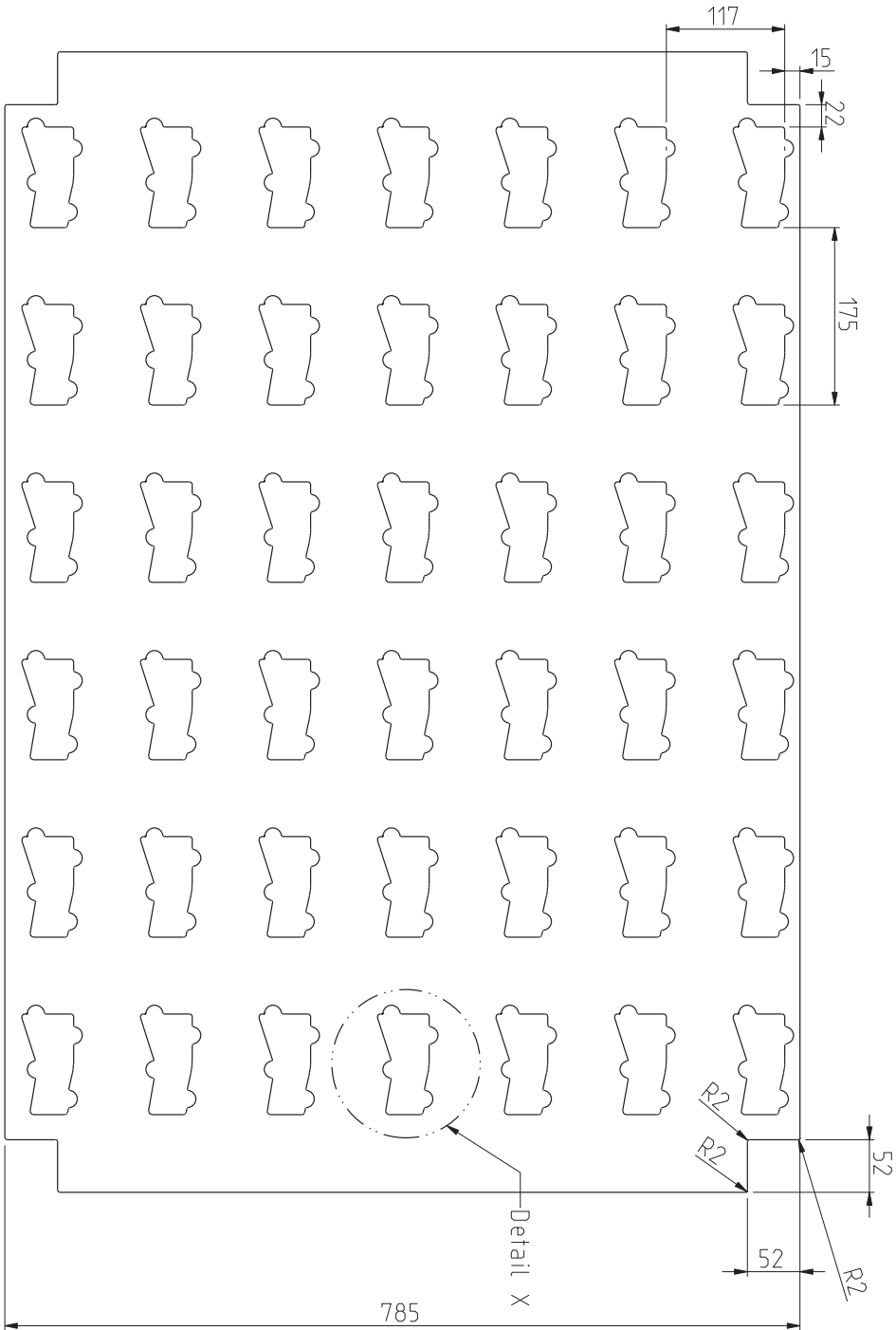
Toleroinnattomat mitat ±2mm

Revision	Date	Revision reason	Done by	Checked by	Approved by
-	03.03.2014	first revision	finako10		

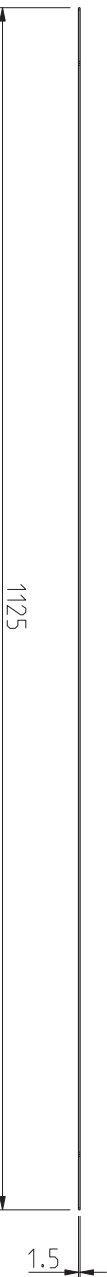
<div>KONE</div>	Scale	Description		
	3:20	STAINLESS STEEL MAGNET PALLET		
		Document Identification	Revision Sheet	
	51069499V000D01	-	1(1)	

LITE 2: LASERLEIKATTU LEVY

101102103104105106107108



1:20



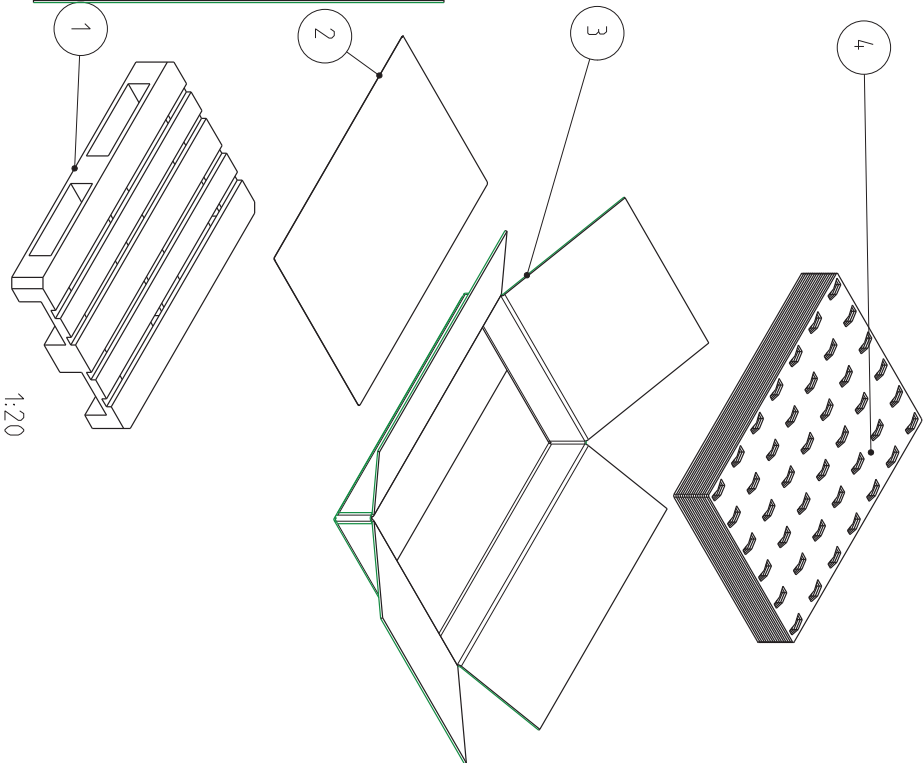
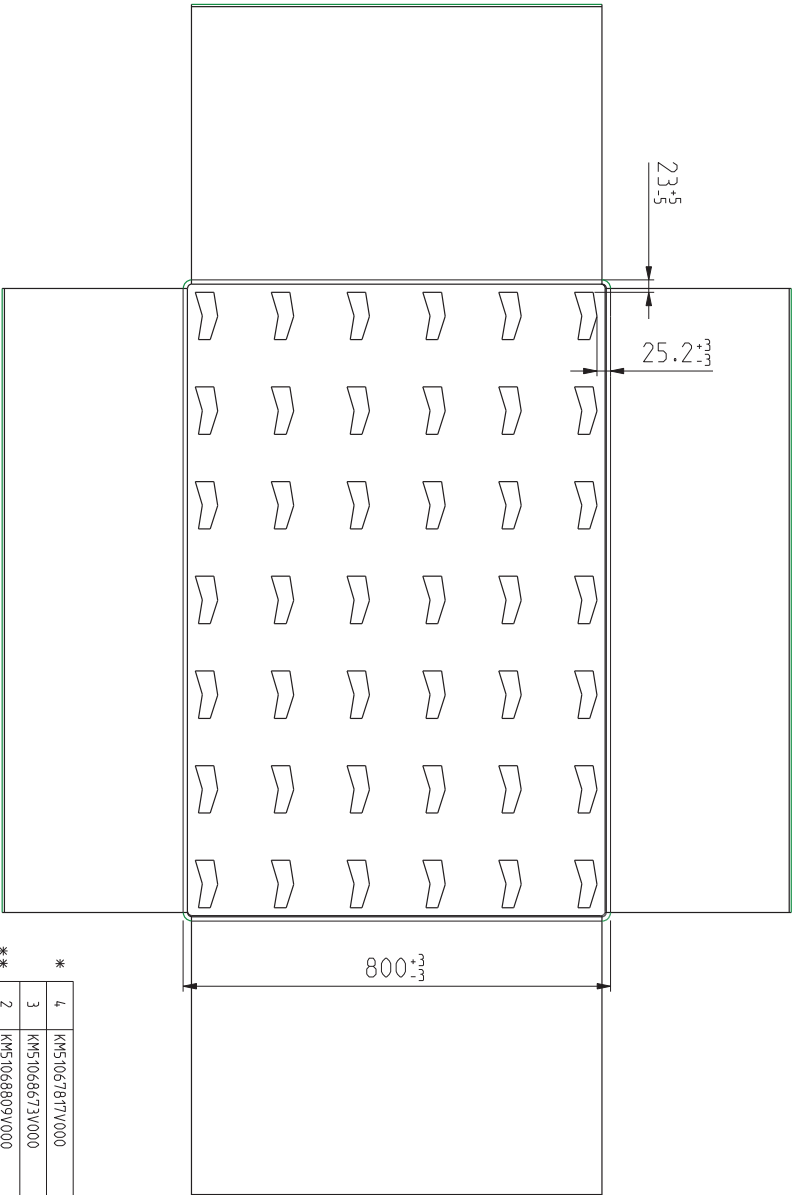
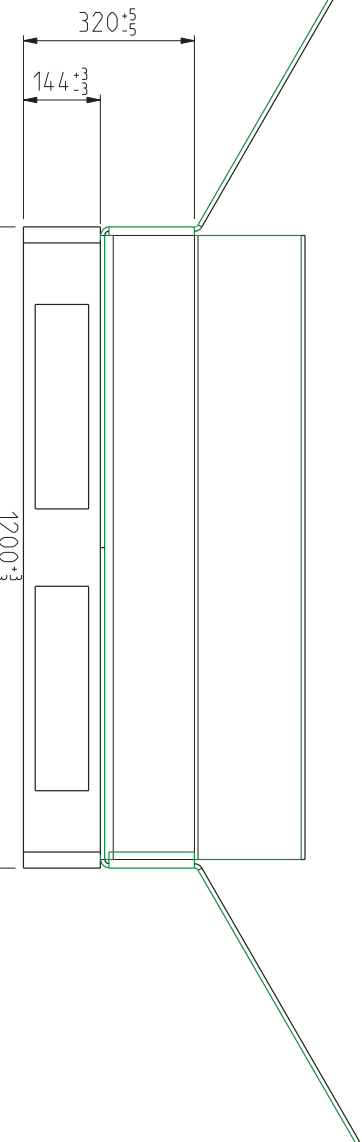
Toleroinnattomat mitat: ISO 9013-232
General tolerances: ISO 9013-232

Revision	Date	Revision reason	Done by	Checked by	Approved by
-	03.03.2014	first revision	finako10		

Item Identification		Description / Specification		EN 10088-2:2005 - 1.4301	
Designed by		Checked by		Qty	
finako10		Approved by		Mass kg	
Date		Surface Finishing / Painting		7.96	
		burns must be removed			
Scale		Description			
1:5		STAINLESS STEEL SHEET LASER CUT			
KONE		Document Identification			
1:20		51069498V000D01			
		Revision Sheet			
		-		(11)	

LIITE 3: PAHVIPAKKAUS KOKOONPANO

101102103104105106107108



4	KMS106787V000	CARDBOARD CUTTED	16
3	KMS1068673V000	CORRUGATED BOARD BOX	1
2	KMS1068809V000	STEEL SHEET BOTTOM 1182X782X1	1
1	KMS1049078V000	PALETT	1

Item	Identification	Description / Specification	Qty
Designed by	finako10	General Tolerance	
Date		Surface Finishing / Painting	Mass kg

Scale	1:10	Description	CARDBOARD MAGNET PALETT
Approved by		Document Identification	

KONE	1:10	Revision Sheet	1(1)
51068802V000D01			

* Quantity of cardboards depends on cardboard thickness.
Cumulative height of cardboard stack must be 140-160mm
** Bottom steel sheet is placed between the bottom flaps of the box and attached to the pallet by screws

Revision	Date	Revision reason	Done by	Checked by	Approved by
-	2016-02-27	first revision	finako10		

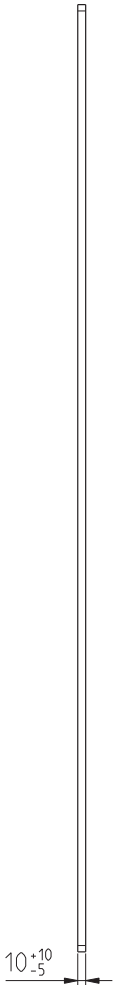
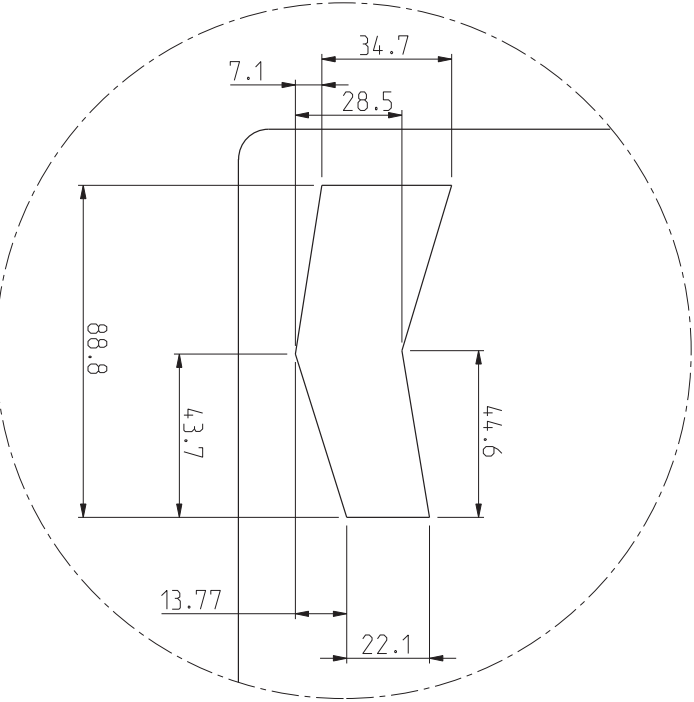
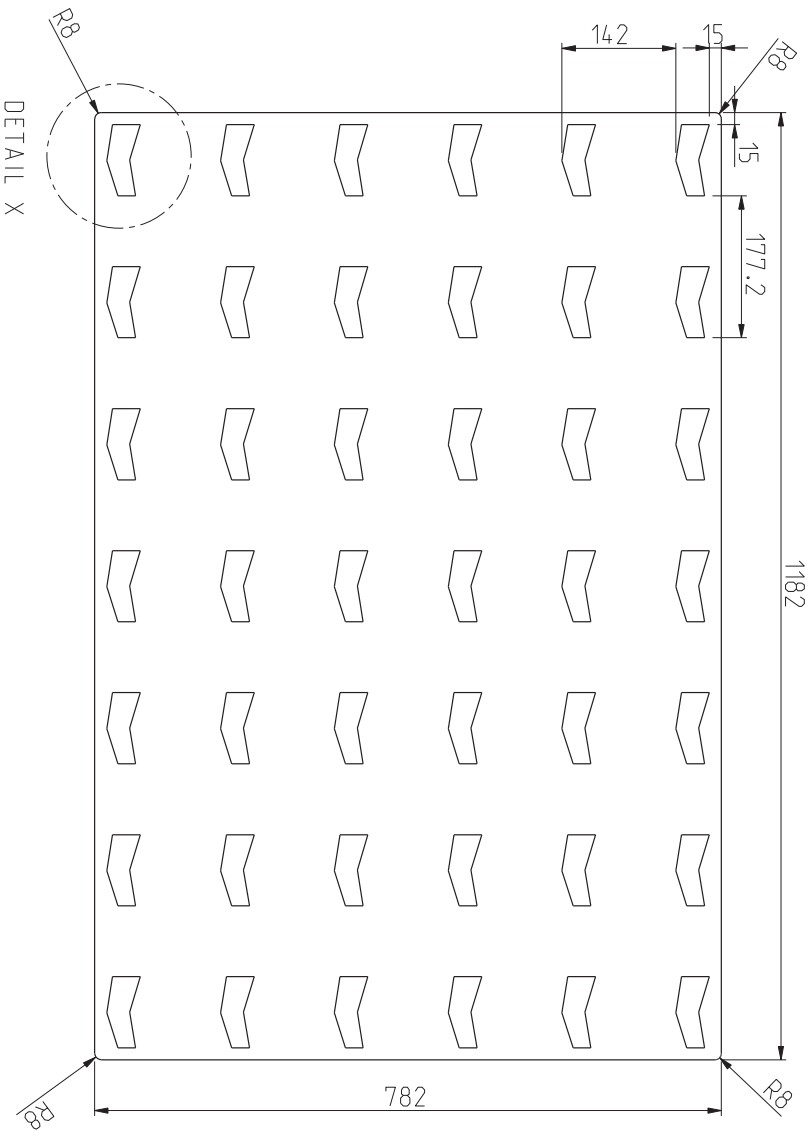
This document must not be copied without our written permission, and the contents therefor must not be imparted to a third party nor be used for any unauthorized purpose, contravention will be prosecuted.

KONE Corporation

Cardboard magnet pallet

LITE 4: LEIKATTU AALTOPAHVILLEY

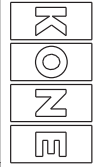
101102103104105106107108



Design: 0110 FEFC0
Material: BC-flute, ECT min 11kN/m
General tolerance ±2mm

Revision	Date	Revision reason	Done by	Checked by	Approved by
-		first revision	finako10		

Item Identification		Description / Specification		Qty	
Designed by finako10		General Tolerance		Mass kg	
Date		Approved by		Surface Finishing / Painting	
Scale 3:20		Description CARDBOARD CUTTED		Revision Sheet 1(1)	



51067817V000D01

-

1(1)

E

D

C

B

A

